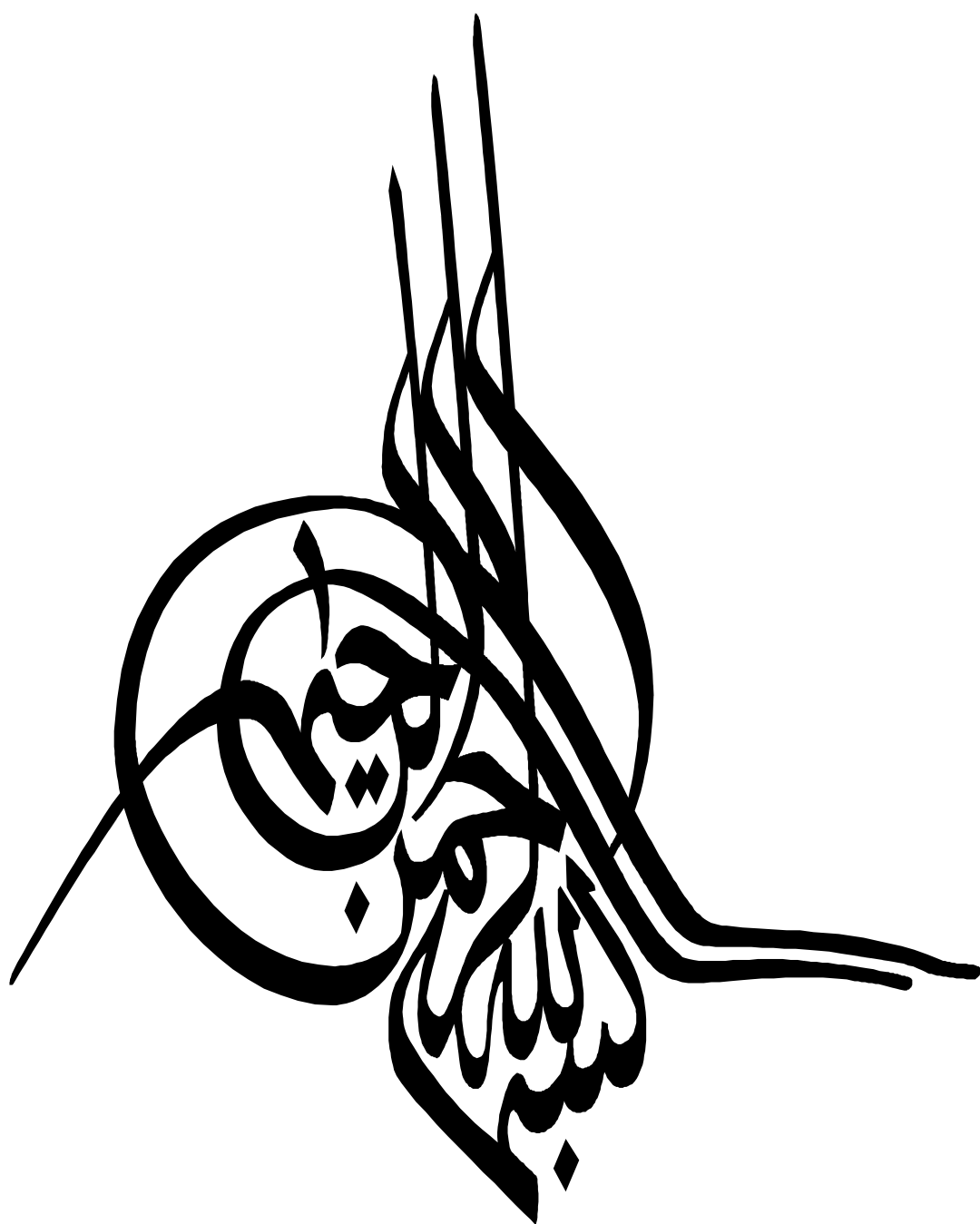






دانشکده مهندسی عمران
گروه: مهندسی آب و محیط زیست
پایان نامه کارشناسی ارشد

**تدوین الگوی بهینه شبکه پایش آبخوان در محدوده تهران-کرج توسط مدل
ترکیبی زمین آمار و بهینه سازی**

راضیه پاک خصال

استاد راهنمای اول:
دکتر سعید گلیان

استاد راهنمای دوم:
دکتر سید موسی حسینی

دی ۱۳۹۴

دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده : مهندسی عمران

گروه : مهندسی آب و محیط زیست

پایان نامه کارشناسی ارشد خانم راضیه پاک خصال

تحت عنوان تدوین الگوی بهینه شبکه پایش آبخوان در محدوده تهران-کرج توسط مدل

ترکیبی زمین آمار و بهینه سازی

در تاریخ ۱۳۹۴/۱۰/۷ توسط کمیته تخصصی زیر جهت اخذ مدرک کارشناسی ارشد
مورد ارزیابی و با درجه بسیار خوب. مورد پذیرش قرار گرفت.

امضاء	اساتید مشاور	امضاء	اساتید راهنما
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : سعید گلپان
	نام و نام خانوادگی :		نام و نام خانوادگی : سید موسی حسینی

امضاء	نماینده تحصیلات تکمیلی	امضاء	اساتید داور
	نام و نام خانوادگی : ایمان آقایان		نام و نام خانوادگی : احمد احمدی
			نام و نام خانوادگی : مهدی عجمی
			نام و نام خانوادگی :
			نام و نام خانوادگی :

سپاسگزاری

سپاس بی‌کران پروردگار یکتا را که هستیمان بخشید و به طریق علم و دانش رهنمونمان شد و به همنشینی رهروان علم و دانش مفتخرمان نمود و خوشه‌چینی از علم و معرفت را روزیمان ساخت.

از استادان راهنمای گرانقدر جناب آقای دکتر سید موسی حسینی و جناب آقای دکتر گلین و استادان محترم جناب آقای دکتر احمدی و جناب آقای دکتر عجمی که زحمت داوری این پایان نامه را متقبل شدند و همچنین جناب آقای دکتر آقایان به دلیل حضور به عنوان نماینده تحصیلات تکمیلی، کمال تشکر را دارم و برای ایشان موفقیت، سلامتی، سعادت و توفیق روزافزون از خداوند متعال خواستارم.

تعهد نامه

اینجانب راضیه پاک خصال دانشجوی دوره کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه تدوین الگوی بهینه شبکه پایش آبخوان در محدوده تهران-کرج توسط مدل ترکیبی زمین‌آمار و بهینه‌سازی آن تحت راهنمایی دکتر سید موسی حسینی و دکتر سعید گلیان متعهد می‌شوم.

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
- در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورد استفاده استناد شده است.
- مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
- کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد و مقالات مستخرج با نام « دانشگاه صنعتی شاهرود » و یا « Shahrood University of Technology » به چاپ خواهد رسید.
- حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته یا استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاق انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامهای رایانه ای، نرم افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود می‌باشد. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

با توجه به پیش‌بینی‌های انجام گرفته تا سال ۲۰۲۵ میلادی، ایران به شمار کشورهای بحران زده آب اضافه خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ سرانه منابع آب ایران به رقمی بین ۷۷۶ تا ۸۶۰ متر مکعب در سال سقوط نماید. راه حل غلبه بر مشکل کم‌آبی صرفاً تولید آب نیست بلکه باید با مدیریت صحیح و بهره‌برداری بهینه، از تلفات و هدر رفتن آب جلوگیری شود تا هم بازده و عمر سیستم افزایش یابد هم هزینه‌ها حداقل گردد. بدیهی است که مدیریت بهینه سیستم و تصمیم‌گیری نیازمند اطلاعات و ابزارهایی جهت پایش منابع آب می‌باشد. بنابراین داشتن یک شبکه پایش بهینه جهت تخمین و پیش‌بینی سطح آب، از زیرساخت‌های این حرکت می‌باشد. بنابراین هدف از این تحقیق، یافتن بهترین نقاط جهت پایش نوسانات آب زیرزمینی می‌باشد. به این منظور اطلاعات چاه‌های موجود در آبخوان تهران_کرج مورد بررسی قرار گرفت. ابزارهای علمی گوناگونی برای دستیابی به این مهم وجود دارد که از میان آنها روش درونیابی کریجینگ و الگوریتم ژنتیک که جزء روش‌های بهینه‌ساز می‌باشد به صورت ترکیبی به کار گرفته شده است.

تابع هدف در تحقیق پیش‌رو، حداقل‌سازی خطای تخمین نقاط می‌باشد. به این معنی که بهترین جواب برای حل مسئله مختصات نقاطی است که در اثر اجرای کریجینگ، کمترین مجموع خطای تخمین را به دست دهند. با حل مسئله به این روش، با جابه‌جایی صرفاً ۵۷ چاه از ۱۶۴ چاه موجود، خطای تخمین به مقدار قابل توجه، یک سوم، کاهش پیدا خواهد کرد. این نتایج مؤید این روش هستند. کلمات کلیدی:

بهینه‌سازی، مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک، کریجینگ، شبیه‌سازی، زمین‌آمار، آبخوان تهران_کرج، جانمایی بهینه، چاه مشاهده‌ای، خطای تخمین

فهرست مطالب

فهرست کلمات مختصر.....	س
۱. فصل اول کلیات پژوهش.....	۱
۱-۱ مقدمه.....	۲
۲-۱ ضرورت انجام تحقیق در منطقه.....	۴
۳-۱ مشاهدات سطح آب زیرزمینی.....	۸
۴-۱ فرضیات.....	۱۰
۵-۱ اهداف تحقیق.....	۱۰
۶-۱ پیکربندی پایان نامه.....	۱۰
۲. فصل دوم مروری بر تحقیقات.....	۱۳
۱-۲ مقدمه.....	۱۴
۲-۲ اهمیت و ضرورت استفاده از تکنیک‌های میان‌یابی متغیرهای مکانی.....	۱۶
۳-۲ ضرورت استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی.....	۲۳
۱-۳-۲ برخی از کاربرد الگوریتم‌های ژنتیک با توجه به تحقیقات گذشته.....	۲۶
۳. فصل سوم مواد و روش‌ها.....	۲۷
۱-۳ مقدمه.....	۲۸
۲-۳ تئوری‌های زمین‌آمار.....	۲۸
۳-۳ مفاهیم کلیدی زمین‌آمار.....	۲۹
۱-۳-۳ متغیر ناحیه‌ای.....	۲۹
۲-۳-۳ نیم‌تغییرنما.....	۳۰
۳-۳-۳ محاسبه نیم‌تغییرنما.....	۳۱
۴-۳-۳ رسم نیم‌تغییرنما.....	۳۱
۵-۳-۳ هم‌تغییرنما.....	۳۲
۶-۳-۳ مشخصات نیم‌تغییرنما.....	۳۳
۴-۳ اثر قطعه‌ای.....	۳۴
۵-۳ دامنه تأثیر.....	۳۵
۶-۳ آستانه.....	۳۶

۳۶	۷-۳ ناهمسانگردی
۳۶	الف) ناهمسانگردی هندسی
۳۷	ب) ناهمسانگردی ناحیه‌ای
۳۷	۸-۳ مدل‌های تئوری تغییرنما
۳۷	۱-۸-۳ گروه فاقد آستانه
۳۸	الف) مدل خطی
۳۸	ب) مدل گوسین
۳۸	ج) مدل سهمی
۳۹	۲-۸-۳ گروه حاوی آستانه
۳۹	الف) مدل کروی
۴۰	ب) مدل نمایی
۴۰	ج) مدل گوسی
۴۱	د) مدل ساختارهای تودرتو
۴۱	۹-۳ واریانس تخمین
۴۲	۱-۹-۳ مراحل آنالیز در زمین‌آمار
۴۳	۱۰-۳ روش‌های تخمین
۴۳	۱-۱۰-۳ روش کریجینگ
۴۳	معادلات کریجینگ
۴۸	۲-۱۰-۳ انواع کریجینگ بر حسب مشخصات ساختار مکانی
۴۸	الف) کریجینگ معمولی
۴۸	ب) لوگ کریجینگ
۴۹	ج) کوکریجینگ
۴۹	نرم‌افزار Minitab
۵۰	تبدیل لگاریتمی:
۵۰	تبدیل رادیکالی:
۵۰	کاکس-باکس:
۵۱	تبدیل جانسون:

۵۱	نرم افزار GS+.....
۵۲	۱۱-۳ تراکم ایستگاه ها.....
۵۳	۱-۱۱-۳ تعیین محل چاه های مشاهده ای در آبخوان ها.....
۵۴	۲-۱۱-۳ تراکم زیاد.....
۵۴	۳-۱۱-۳ تراکم قابل قبول.....
۵۴	۴-۱۱-۳ شبکه بندی.....
۵۵	۱۲-۳ الگوریتم ژنتیک.....
۵۶	۱۳-۳ ساختار الگوریتم های ژنتیکی.....
۵۷	۱-۱۳-۳ روند کلی الگوریتم های ژنتیکی.....
۵۷	۲-۱۳-۳ روند کلی بهینه سازی و حل مسائل در الگوریتم ژنتیک:.....
۵۸	۱۴-۳ عملگرهای الگوریتم ژنتیک.....
۵۸	۱-۱۴-۳ عملگر انتخاب (Selection).....
۵۹	روش های انتخاب.....
۵۹	انتخاب نخبگان (Elitist Selection).....
۵۹	عملگر تقاطع (Crossover).....
۵۹	تقاطع تک نقطه ای (Single Point Crossover).....
۶۰	روش تقاطع دو نقطه ای (Two-point CrossOver).....
۶۱	تقاطع چند نقطه ای (Multipoint Crossover).....
۶۱	تقاطع جامع (Uniform Crossover).....
۶۱	عملگر جهش (Mutation).....
۶۲	۲-۱۴-۳ بهینه سازی چندهدفه.....
۶۳	۳-۱۴-۳ شرط پایان الگوریتم.....
۶۳	۴-۱۴-۳ بهینه سازی الگوریتم ژنتیک.....
۶۴	۱۵-۳ خلاصه فصل.....
۶۹	۴.. فصل چهارم: منطقه مورد مطالعه.....
۷۰	۱-۴ مقدمه.....
۷۲	۲-۴ منطقه مورد مطالعه.....

۱-۲-۴	مناطق طبیعی	۷۲
	دشت تهران	۷۳
۲-۲-۴	شیب	۷۳
۳-۲-۴	ارتفاع از سطح دریا	۷۳
۳-۴	مشخصات کلی آب و هوا	۷۵
۱-۳-۴	آب زیرزمینی	۷۶
	۵ فصل پنجم: نتایج	۷۷
۱-۵	آماده سازی داده ها	۷۸
۲-۵	تخمین ساختار مکانی داده ها با استفاده از روش زمین آمار	۸۸
۱-۲-۵	نتایج شبیه سازی	۹۳
	داده های میانگین	۹۳
	داده های ماکزیمم	۹۵
	داده های مینیمم	۹۷
۳-۵	نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک	۹۹
۱-۳-۵	بهینه سازی الگوریتم	۹۹
۶..	فصل ششم: نتیجه گیری و کارهای آینده	۱۰۵
۱-۶	مقدمه و خلاصه	۱۰۶
۲-۶	نتایج	۱۰۸
۳-۶	پیشنهادات	۱۰۸
	فهرست مراجع	۱۰۹

فهرست جدول‌ها

عنوان	صفحه
جدول (۱-۱) وضعیت آبخوان تهران کرج طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴	۷
جدول (۱-۴) داده‌های آماری چاه‌های مشاهداتی سال‌های ۱۳۷۵-۱۳۹۲	۷۰
جدول (۲-۴) آب مصرفی دشت ممنوعه بحرانی تهران_کرج	۷۵
جدول (۱-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های میانگین	۷۹
جدول (۲-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های میانگین نرمال شده	۸۱
جدول (۳-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های مینیمم	۸۲
جدول (۴-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های مینیمم تبدیل یافته	۸۴
جدول (۵-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های ماکزیمم	۸۵
جدول (۶-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های ماکزیمم تبدیل یافته	۸۷
جدول (۷-۵) مدل برازش یافته بهینه داده‌های میانگین	۸۸
جدول (۸-۵) مدل برازش یافته بهینه داده‌های مینیمم	۹۰
جدول (۹-۵) مدل برازش یافته بهینه ماکزیمم	۹۱
جدول (۱۰-۵) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی و خطای تخمین	۹۷
جدول (۱۱-۵) تغییرات نرخ جهش با تابع هدف	۹۹
جدول (۱۲-۵) تغییرات جواب بهینه با تغییر در تعداد جمعیت	۹۹
جدول (۱۳-۵) تغییرات جواب بهینه با افزایش نسل	۱۰۰
جدول (۱۴-۵) تغییرات تابع بهینه با افزایش نرخ تقاطع	۱۰۱
جدول (۱۵-۵) تفاوت استفاده ترکیبی از الگوریتم ژنتیک_کریجینگ و کریجینگ	۱۰۳

فهرست شکل

صفحه	عنوان
۳.....	شکل (۱-۱) وضعیت تنش آبی در کشورهای جهان سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۲۵.....
۶.....	شکل (۲-۱) نمودار تغییر تجمعی افت سطح ایستابی آبخوان تهران_کرج.....
۱۸.....	شکل (۱-۲) منطقه مورد مطالعه و اولویت‌بندی چاه‌ها.....
۱۸.....	شکل (۲-۲) نمایش مقادیر تغذیه و آبدهی ویژه در مقابل تعداد مختلف چاه.....
۱۹.....	شکل (۳-۲) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در استان گلستان.....
۲۱.....	شکل (۴-۲) موقعیت قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای دشت تبریز.....
۲۱.....	شکل (۵-۲) نقشه خطای استاندارد مربوط به برازش مدل کریجینگ با ۶۴ درصد چاه‌ها.....
۲۴.....	شکل (۶-۲) نمودار مقادیر پهنه بندی شده و برآوردی از روش های مختلف.....
۳۲.....	شکل (۱-۳) نمایی از یک نیم‌تغییرنما.....
۳۳.....	شکل (۲-۳) نمایی از یک هم‌تغییرنما.....
۳۴.....	شکل (۳-۳) تاثیر اثر قطعه‌ای بر تغییرنما.....
۳۹.....	شکل (۴-۳) نمونه‌ای از یک مدل کروی با اثر قطعه‌ای صفر.....
۴۰.....	شکل (۵-۳) نمونه‌ای از یک مدل نمایی.....
۴۱.....	شکل (۶-۳) نمونه مدل گوسی.....
۵۰.....	شکل (۷-۳) تغییرات مقدار لاندا با تغییر واریانس.....
۵۱.....	شکل (۸-۳)، تبدیل‌های تحت تبدیل جانسون.....
۵۵.....	شکل (۹-۳) ساختار کروموزوم.....
۶۰.....	شکل (۱۰-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع تک نقطه‌ای.....
۶۰.....	شکل (۱۱-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع دو نقطه‌ای.....
۶۱.....	شکل (۱۲-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع چند نقطه‌ای.....
۶۱.....	شکل (۱۳-۳) نمونه‌ای از عملیات جهش.....
۶۵.....	شکل (۱۴-۳) روند کلی استفاده از کریجینگ.....
۶۶.....	شکل (۱۵-۳) روند کلی مدل ترکیبی ژنتیک-کریجینگ.....
۷۳.....	شکل (۱-۴) نقشه آبخوان تهران-کرج.....
۶۸.....	شکل (۱-۵) نمودار توزیع تجمعی حدود اعتماد ۹۵٪.....
۶۸.....	شکل (۲-۵) هیستوگرام فراوانی و منحنی توزیع نرمال.....
۸۰.....	شکل (۳-۵) نمودار توزیع تجمعی حدود اعتماد ۹۵٪.....
۸۰.....	شکل (۴-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های تبدیل یافته.....
۸۱.....	شکل (۵-۵) نمودار توزیع تجمعی مینیمم با حدود اعتماد ۹۵٪.....
۸۲.....	شکل (۶-۵) هیستوگرام فراوانی و منحنی توزیع نرمال داده‌های مینیمم.....
۸۳.....	شکل (۷-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های تبدیل یافته با حدود اعتماد ۹۵٪.....

- شکل (۸-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های ماکسیمم و منحنی توزیع نرمال..... ۸۳
- شکل (۹-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های ماکزیمم حدود اعتماد ۰.۹۵..... ۸۴
- شکل (۱۰-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های بلندمدت و منحنی توزیع نرمال..... ۸۵
- شکل (۱۱-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های تبدیل یافته حدود اعتماد ۰.۹۵..... ۸۶
- شکل (۱۲-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های نرمال شده منحنی توزیع نرمال..... ۸۷
- شکل (۱۳-۵) مدل کروی بهترین مدل برازش بین مدل‌ها..... ۸۹
- شکل (۱۴-۵) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر میانگین..... ۸۹
- شکل (۱۵-۵) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه‌سازی منطقه مقادیر میانگین..... ۸۹
- شکل (۱۶-۵) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر مینیمم..... ۹۰
- شکل (۱۷-۵) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه‌سازی مقادیر مینیمم..... ۹۱
- شکل (۱۸-۵) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر ماکزیمم..... ۹۱
- شکل (۱۹-۵) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه‌سازی مقادیر ماکسیمم..... ۹۲
- شکل (۲۰-۵) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار میانگین سطح ایستابی (کریجینگ)..... ۹۳
- شکل (۲۱-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های مشاهداتی میانگین..... ۹۳
- شکل (۲۲-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده میانگین..... ۹۳
- شکل (۲۳-۵) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی میانگین..... ۹۴
- شکل (۲۴-۵) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار ماکزیمم سطح ایستابی (کریجینگ)..... ۹۴
- شکل (۲۵-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های مشاهداتی..... ۹۵
- شکل (۲۶-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده ماکزیمم..... ۹۵
- شکل (۲۷-۵) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی ماکزیمم..... ۹۵
- شکل (۲۸-۵) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار مینیمم سطح ایستابی (کریجینگ)..... ۹۶
- شکل (۲۹-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده مینیمم..... ۹۶
- شکل (۳۰-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های واقعی شده مینیمم..... ۹۷
- شکل (۳۱-۵) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی مینیمم..... ۹۷
- شکل (۳۲-۵) تغییرات با نرخ جهش بهترین نرخ جهش ۰.۰۲..... ۹۸
- شکل (۳۳-۵) تغییرات بهترین جواب با تعداد جمعیت..... ۹۹
- شکل (۳۴-۵) تغییرات بهترین جواب با تعداد نسل..... ۱۰۰
- شکل (۳۵-۵) تغییرات بهترین جواب با نرخ تزویج..... ۱۰۰
- شکل (۳۶-۵) تغییرات بهترین جواب با نرخ تزویج..... ۱۰۱
- شکل (۳۷-۵) موقعیت قرارگیری چاه‌های واقعی و چاه‌های پیشنهادی..... ۱۰۲
- شکل (۳۸-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های پیشنهادی..... ۱۰۲
- شکل (۳۹-۵) جانمایی بهینه ۱۶۴ چاه مشاهده‌ای..... ۱۰۳

فهرست کلمات مختصر

BLUE	Best Linear Unbiase Estimator
GA	genetic algorithm
GPI	Global Polynomial Interpolation
IDW	Inverse Distance Weighted
P-value	probability of an observed result arising by
r	range of the theoretical semivariogram
RBF	Radial Basis Function
RMSD	root-mean-square deviation
RMSE	root-mean-square error
Var	variance
w	weighting coefficient

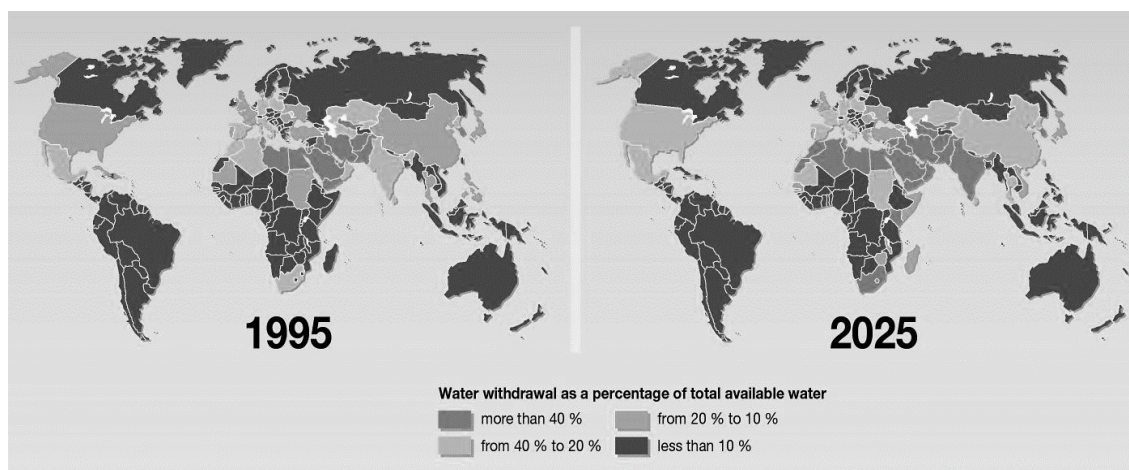
فصل اول

کلیات پژوهش

۱-۱ مقدمه

مقدار آب موجود در روی کره زمین حدود ۱,۴ میلیون کیلومتر مکعب است که از این مقدار بیش از ۹۷٪ در اقیانوس‌ها و ۲٪ به صورت یخ در یخچال‌ها قرار دارد. به این ترتیب مجموع آب موجود بر روی خشکی‌های کره زمین اعم از آب‌های زیرزمینی، رودخانه‌ها، نهرها و غیره کمتر از ۱٪ از کل آب‌های موجود بر روی کره زمین را تشکیل می‌دهد (Bouwer, ۱۹۸۷).

با توجه به شکل (۱-۱) و بر اساس پیش‌بینی‌های انجام گرفته تا سال ۲۰۲۵ میلادی، بین ۵ تا ۱۵ کشور، از جمله ایران به شمار کشورهای بحران زده آب اضافه خواهد شد. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۵ سرانه منابع آب ایران که در سال ۱۹۹۰ معادل ۲۰۲۵ متر مکعب بر ای هر نفر در سال بوده به رقمی بین ۷۷۶ تا ۸۶۰ متر مکعب در سال سقوط نماید. به این ترتیب قرن بیست و یکم، قرن مواجه با کمبود آب خواهد بود و برای توصیف عظمت و اهمیت بحران آب در جهان و اقدامات اساسی در مورد آن سخن دیگری برای گفتن باقی نمی‌ماند (WMO, ۱۹۹۶). در حال حاضر ایران در شمار کشورهای در حال توسعه قرار گرفته است، لیکن چنانچه همزمان با توسعه، به مدیریت منابع آب توجه نشود، نه تنها توسعه اقتصادی حاصل نخواهد شد، بلکه این امر مشکلات و پیامدهای جبران ناپذیری را بدنبال خواهد داشت (ابوالقاسمی رحیم آبادی، ۱۳۸۷).



شکل (۱-۱) وضعیت تنش آبی در کشورهای جهان در سالهای ۱۹۹۵ و ۲۰۲۵ (WMO، ۱۹۹۶)

آب‌های زیرزمینی یکی از منابع حیاتی تأمین آب مصرفی در جهان می‌باشد، ۹۷ درصد از کل آب‌های شیرین سطح کره زمین به صورت آب‌های زیرزمینی ذخیره شده‌اند و تنها ۳ درصد آن را آب‌های سطحی تشکیل می‌دهند. در کشور ما با افزایش جمعیت در فلات مرکزی و نواحی خشک، استفاده از آب‌های زیرزمینی بیش از پیش گسترش یافته به طوری که در بسیاری از مناطق تأمین آب کشاورزی، شرب و صنایع، توسط آب‌های زیرزمینی صورت می‌گیرد. علل زیادی بر ترجیح آب‌های زیرزمینی به آب‌های سطحی وجود دارد که از جمله می‌توان به دلایل زیر اشاره کرد (Bouwer، ۱۹۷۸).

۱- سهولت بهره‌برداری

۲- ثابت ماندن کیفیت آب، درجه حرارت، مقدار نمک و املاح

۳- عدم تغییر شدید نسبت به اوضاع جوی و بارندگی فصلی

۴- پایین بودن هزینه استخراج نسبت به تهیه آب از منابع سطحی نظیر ایجاد بند یا سد

۵- سرعت عمل در استحصال و برنامه‌ریزی و غیره

تأمین آب برای شهرهای بزرگی مانند تهران با وجود جمعیت میلیونی یکی از مشکلات حاد آینده خواهد بود. باید توجه داشت که این شهر در منطقه گرم و خشک واقع است و مصرف بیش از حد و غیراصولی و همچنین خشکسالی‌های چند سال اخیر موجب تحلیل رفتن منابع آبی موجود آن شده.

راه حل غلبه بر مشکل کم‌آبی به سادگی فراهم نمی‌گردد. در مواردی همچون شهر تهران نباید صرفاً به بهره‌برداری از منابع آبی جدید اندیشید، بلکه در کنار تولید آب باید با مدیریت صحیح و بهره‌برداری بهینه از تلفات و هدر رفتن آب جلوگیری شود تا هم بازده و عمر سیستم افزایش یابد هم هزینه‌ها حداقل گردد. بدیهی است که مدیریت بهینه سیستم و تصمیم‌گیری نیازمند اطلاعات و ابزارهایی جهت پایش منابع آب می‌باشد (تائبی، ۱۳۷۹ و منزوی، ۱۳۷۸).

۱-۲ ضرورت انجام تحقیق در منطقه

وجود بیش از ۶۰۰,۰۰۰ حلقه چاه آب در آبخوان‌های آبرفتی و سازند سخت حاکی از اهمیت منابع آب زیرزمینی در کشور ما در مصارف مختلف (کشاورزی، شرب و بهداشت و صنعت) است. حجم قابل توجه برداشت از این منابع از طریق چاه‌ها، بیانگر نقش مهم و انکارناپذیر آب زیرزمینی در توسعه زیرساخت‌های کشور می‌باشد. بنابراین نقش چاه‌های آب در تامین نیازهای آبی همواره در توسعه کشورها پررنگ ظاهر شده و به همین لحاظ در اکثر کشورهای پیشرفته و در حال توسعه چاه آب به‌عنوان یک سازه هیدرولیکی مهم مطرح بوده و در طراحی و نظارت بر حفر و تجهیز آن مبالغ قابل توجهی هزینه می‌شود (معیارهای فنی آبفا نشریه ۵۷۷).

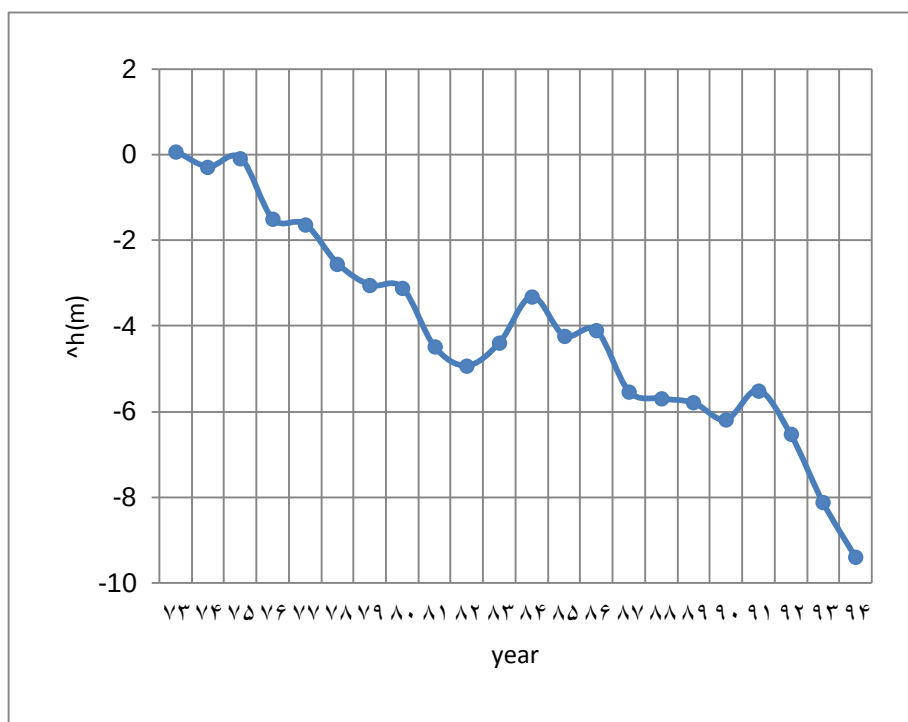
زمانی که مطالعه یک جامعه آماری، به علت در دسترس نبودن و یا نامحدود بودن مقدور نباشد مجبور به نمونه‌گیری و تجزیه و تحلیل آن و در نهایت تعمیم نتایج آن به کل جامعه هستیم. یکی از مزیت‌های نمونه‌گیری کاهش هزینه‌ها و صرفه‌جویی در زمان می‌باشد. اگر نمونه‌گیری از جامعه صحیح باشد، حجم نمونه انتخابی می‌تواند کوچک باشد و یا به عبارت دیگر اگر اهمیت هر نمونه به لحاظ میزان اطلاعاتی که در مورد جامعه ارائه می‌دهد مشخص گردد، می‌توان در نمونه‌گیری‌های بعدی از نمونه‌هایی که اطلاعات چندانی ارائه نمی‌دهد صرف نظر کرد که این صرفه‌جویی در زمان و هزینه را بسیار بالا می‌برد (Siyue، ۲۰۰۹ و Oueslati، ۲۰۱۰).

طراحی شبکه پایش (مونیتورینگ) آب زیرزمینی معمولاً به منظور پایش سطح آب زیرزمینی، کیفیت آب زیرزمینی و یا هر دو انجام می‌گیرد که نقش اساسی در مدیریت بهره‌برداری از آبخوان دارد (Dhar, 2010). در طراحی شبکه پایش آب زیرزمینی، بعد از تعیین هدف، نکته کلیدی مشخص کردن چاه‌های مؤثر بر پایش می‌باشد. در شبکه پایش آب زیرزمینی باید سعی گردد، جهت صرفه‌جویی در وقت و هزینه (هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از جنبه نمونه‌برداری)، از چاه‌های اصلی که همان چاه‌های مؤثر بر پایش هستند استفاده گردد (Snyder, 2008). اگر بسته به هدف پایش، اهمیت نسبی هر چاه در مدل کردن آب زیرزمینی مشخص گردد، می‌توان جهت بالا بردن دقت پایش، دقت نمونه‌برداری و کنترل کیفیت را در چاه‌های مهم افزایش داد (Yuanhai و Hilton, 2007). روش‌های پایش به دو روش زمین‌شناسی و آماری انجام می‌گیرد (Helena, 2000). روش زمین‌شناسی بر اساس کمیت و کیفیت اطلاعات زمین‌شناسی و آب زیرزمینی استوار بوده و در آن از روش‌های پیشرفته آماری استفاده نمی‌گردد (Jauzein و Lucas, 2008). ولی در روش آماری، که خود شامل روش شبیه‌سازی، تحلیل واریانس و روش احتمالاتی می‌باشد، از روش‌های پیشرفته آماری مثل زمین‌آمار و روش‌های نوین مثل شبکه عصبی و الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد (Hisdal, 1999).

از آنجا که بواسطه جنبه‌های مختلف از جمله اقتصادی، تعبیه ایستگاه‌های هواشناسی، هیدرومتری و پیزومتری در تمامی نقاط منطقه امکان‌پذیر نمی‌باشد، معمولاً روش‌های میان‌یابی در این زمینه کاربرد فراوانی دارد و توصیه شده‌است (آب منطقه‌ای قزوین ۱۳۸۵).

همچنین با توجه به آمار برداری از ایستگاه‌ها، طی سال‌های آماری ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴ و تجزیه تحلیل روی داده‌ها نتایج موجود در جدول (۱-۱) و شکل (۱-۲) حاصل شد. این نتایج که از گزارشات شرکت مدیریت منابع آب ایران می‌باشد؛ نشان دهنده اهمیت پایش آبخوان و همچنین بحرانی بودن وضع کنونی آبخوان تهران_کرج است؛ با توجه به این نمودار شاهد افت هر ساله سطح آب هستیم. آمارهای نگران کننده حاکی از این مسئله است؛ که طی ۲۱ سال، شاهد افتی بیش از ۹ متر در سطح ایستابی آبخوان بوده‌ایم. این میزان افت، برابر با حجمی بالغ بر ۶۰۲ میلیون متر مکعب از ذخایر آبخوان

می باشد. میزان آفت سطح ایستابی و کاهش حجم مخزن به تفکیک سال، به صورت تجمعی و سالانه در جدول (۱-۱) آورده شده است.



شکل (۱-۲) نمودار تغییر تجمعی افت سطح ایستابی آبخوان تهران_کرج

جدول (۱-۱) وضعیت آبخوان تهران کرج طی سال‌های ۱۳۷۲ تا ۱۳۹۴

سال آبی	میانگین تغییر سطح ایستابی	میانگین تجمعی تغییر سطح ایستابی آبخوان (متر)	میانگین تغییر حجم آبخوان (میلیون متر مکعب)	میانگین تجمعی تغییر حجم آبخوان (میلیون متر مکعب)
1372-73	0.07	0.07	4.49	4.49
1373-74	-0.36	-0.29	-23.09	-18.60
1374-75	0.21	-0.08	13.47	-5.13
1375-76	-1.43	-1.51	-91.72	-96.85
1376-77	-0.12	-1.63	-7.70	-104.55
1377-78	-0.92	-2.55	-59.01	-163.56
1378-79	-0.50	-3.05	-32.07	-195.63
1379-80	-0.06	-3.11	-3.85	-199.48
1380-81	-1.38	-4.49	-88.51	-287.99
1381-82	-0.44	-4.93	-28.22	-316.21
1382-83	0.53	-4.40	33.99	-282.22
1383-84	1.08	-3.32	69.27	-212.94
1384-85	-0.91	-4.23	-58.37	-271.31
1385-86	0.12	-4.11	7.70	-263.62
1386-87	-1.42	-5.53	-91.08	-354.69
1387-88	-0.17	-5.70	-10.90	-365.60
1388-89	-0.10	-5.80	-6.12	-371.71
1389-90	-0.40	-6.20	-25.66	-397.37
1390-91	0.69	-5.51	44.26	-353.11
1391-92	-1.03	-6.54	-66.06	-419.18
1392-93	-1.59	-8.13	-101.98	-521.16
1393-94	-1.27	-9.40	-81.46	-602.62
متوسط سالانه	-0.43		-27.39	

۳-۱ مشاهدات سطح آب زیرزمینی

سطح آب یکی از مهمترین پارامترها برای توسعه مدل‌های پیش‌بینی در سیستم‌های آب‌زیرزمینی است. اندازه‌گیری سطح آب در چاه‌های مشاهداتی با پیزومترها انجام می‌شود. فاصله چاه‌های مشاهداتی در یک شبکه آب‌زیرزمینی بستگی به (۱) ابعاد محیط آبخوان، (۲) پیچیدگی‌های هیدرولوژیکی، (۳) اهداف شبکه، (۴) محدودیت‌های مالی، دارد.

اگر در یک منطقه آبخوان‌های متعدد در عمق‌های مختلف زیر سطح زمین و ارتفاع‌های پیزومتریک و شوری‌های مختلف وجود داشته باشد می‌باید چاه‌های گمانه‌ای مختلفی برای هر یک حفر کرد. فاصله بین چاه‌ها بسته به شرایط متفاوت خواهد بود. موقعیت چاه‌های مشاهده‌ای در شبکه می‌باید با توجه به یک الگوی هندسی تعیین شود.

طراحی باید به گونه‌ای باشد که بتوان از مشاهدات انجام شده در چاه‌های موجود استفاده کرد. یک شبکه پایه در نواحی توسعه نیافته باید آنقدر متراکم باشد که تمام سفره‌های اصلی را پوشش دهد. برای تأسیس شبکه حداقل در آبخوان‌های توسعه نیافته راهکارهای زیر باید مورد توجه قرار گیرد:

(۱) فاصله بین دو چاه مشاهده‌ای باید چنان باشد که بتوان پیکربندی زمین‌شناسی آبخوان را پیش‌بینی کرد.

(۲) این فاصله بسته به موقعیت متفاوت خواهد بود. حداکثر فاصله بین چاه‌ها در یک ناحیه بسیار بزرگ و برای یک شبکه پایه نباید بیش از ۴۰ کیلومتر باشد.

(۳) می‌باید اطلاعات کاملی از هیدروژئولوژی چاه‌هایی که با اهداف دیگری نظیر استخراج نفت و یا مصارف خانگی حفر شده‌اند در دست باشد.

(۴) در شبکه حداقل، می‌باید حداکثر استفاده از چاه‌های موجود صورت گیرد و به این ترتیب هزینه حفر و تجهیز چاه‌ها کاهش یابد.

۵) در زمین‌های آبرفتی بازه‌های مجاور و پایین رودخانه‌ها ارتباط هیدرولیکی بین آب‌زیرزمینی و نوسانات سطح آب رودخانه‌ها می‌باید بررسی شده و از اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری حتی‌المقدور حداکثر استفاده به عمل‌آید تا به این ترتیب بتوان در بخشی از هزینه‌های حفر و تجهیز چاه صرفه‌جویی شود.

۶) در آبخوان‌هایی که سطوح ایستابی در عمق کمی از سطح زمین قرار دارند تراکم شبکه پایه می‌باید تا یک چاه در هر ۵ تا ۱۰ کیلومتر مربع افزایش یابد. تراکم چاه‌ها برای مطالعات عمیق و دقیق و مطالعات مدیریت آبخوان می‌باید بیشتر باشد.

در آبخوان‌های سرعت در حال توسعه یا کاملاً توسعه یافته در مناطق با شبکه‌های آبیاری و زهکشی متراکم یا در مناطقی که مطالعات خاصی نظیر "آب شیرین و شور" و یا "تداخل آب و نمک" در آبخوان و یا در مناطقی که پروژه‌های بزرگ آبی در دست انجام است، مطالعات دقیق‌تر و کامل‌تری در زمینه آب‌زیرزمینی باید صورت گیرد.

نکته قابل توجه در تمامی توصیه‌های ذکر شده در مورد تراکم ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی این است که این پیشنهادات هر کدام در یک منطقه خاص و بر اساس شرایط آب و هوایی یک منطقه مورد نظر بدست آمده‌اند. بنابراین برای استفاده در یک منطقه دیگر تنها می‌توانند به عنوان راهنمای اولیه برای طراحی شبکه پایش بهینه و تعیین تواتر زمانی و مکانی ایستگاه‌های آب‌سنجی و باران‌سنجی و شبکه چاه‌های برداشت سطح ایستابی مورد استفاده قرار گیرند. لذا با توجه به اهمیت صحت دقت و کامل بودن داده‌های آب‌سنجی، باران‌سنجی و چاه‌های برداشت سطح ایستابی در تهیه مدل‌های مختلف منابع آب سطحی و زیرزمینی لزوم تعیین شبکه پایش بهینه این ایستگاه‌ها بر اساس تئوری‌ها و فرضیات آماری و با استفاده از اطلاعات موجود منطقه آشکار می‌شود. از طرفی این روش‌ها و توصیه‌ها در مورد نحوه خطای برداشت متغیر مورد نظر بر اساس اطلاعات برداشت شده از شبکه موجود راهکاری ارائه نمی‌دهند (آب منطقه‌ای قزوین ۱۳۸۵).

۴-۱ فرضیات

در این پایان‌نامه فرض بر این است که شبکه پایش چاه‌های مشاهده‌ای آبخوان تهران_کرج بهینه نیست و نیاز دارد بر اساس تابع هدف مورد نظر بهینه گردد همچنین مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک تک هدفه و زمین آمار قابلیت ارائه الگوی بهینه شبکه پایش را دارد.

۵-۱ اهداف تحقیق

هدف کلی در این تحقیق به دست آوردن شبکه مانیتورینگ بهینه چاه‌های مشاهداتی آبخوان تهران_کرج است.

اهداف جزئی این تحقیق عبارتند از:

آنالیز آماری داده‌های موجود

به دست پارامترهای آماری چاه‌ها

ارزیابی شبکه پایش موجود از نظر خطای تخمین تراز آب

مقایسه شبکه پایش بهینه با شبکه پایش موجود بر اساس تابع هدف

پهنه بندی تراز آب در سطح آبخوان با استفاده از روش زمین‌آمار

به دست آوردن پارامترهای کریجینگ

یافتن بهترین الگوی تخمین کریجینگ

بدست آوردن تابع واریوگرام

۶-۱ پیکربندی پایان‌نامه

فصل اول: مقدمه ای در مورد بحران آب و اهمیت آبخوان‌ها و مدیریت منابع آب و نشان دادن ارتباط مدیریت منابع آب و اهمیت شبکه پایش بهینه و در نتیجه چرایی انجام تحقیق، ارائه فرضیات و هدف از انجام تحقیق.

فصل دوم: مروری بر تحقیقات انجام شده پیشین که به نوعی راهنمای این پایان نامه بوده‌اند و همچنین مروری بر تحقیقاتی که در جزئی از مراحل مشابه پایان نامه پیش‌رو بوده‌اند.

فصل سوم: روند انجام تحقیق، مروری بر مبانی زمین‌آمار و الگوریتم ژنتیک، اشاره به برخی پارامترهای آماری مورد استفاده و تراکم شبکه پایش با توجه به منطقه مورد نظر.

فصل چهارم: منطقه مورد مطالعه از نظر مساحت، موقعیت جغرافیایی، نقشه‌های موجود و نوع آب و هوا، برخی تعاریف و توصیه‌های سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی و اشاره به برخی دستورالعمل‌ها و معیارهای فنی برای جانمایی چاه‌ها نسبت به موقعیت و شرایط منطقه.

فصل پنجم: پردازش داده‌ها از نظر ایزوتروپی، نرمالیتی، نرمال نمودن داده‌ها با استفاده از ابزار آماری، استفاده از داده‌های نرمال شده جهت زمین‌آمار و شبیه‌سازی برای نقاط فاقد آمار، به دست آوردن پارامترهای بهترین الگوی کریجینگ، اجرای ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کریجینگ (الگوی تعیین شده بهینه) جهت جانمایی بهینه چاه‌ها در آبخوان، مقایسه جانمایی چاه‌های موجود و چاه‌های فرضی تعیین موقعیت شده.

فصل ششم: نتیجه‌گیری و پیشنهاد برای تحقیقاتی که مکمل این اثر خواهند بود.

فصل دوم

مروری بر تحقیقات

۱-۲ مقدمه

در حدود ۸۶ سال پیش با شناسایی مقدماتی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی، نخستین تجربه‌ها در بکارگیری روش‌های آماری به مفهوم امروزی آن، در محاسبات تخمین ذخیره طلا آغاز شد. هوپر که روی معادن طلا تحقیق می‌کرد، با جمع‌آوری تعداد زیادی نمونه و بررسی آن‌ها دریافت که با تفکیک مقادیر طلا در دسته‌های جداگانه، الگوهای توزیع فراوانی مشخصی ظاهر می‌شود. در حدود سال‌های ۱۹۵۰ و ۱۹۵۱، توجه محققین به این نکته جلب شد که در یک منطقه معدنی معمولاً بخش‌های پرعیار و کم‌عیار در کنار یکدیگر قراردارند و بایستی نوعی رابطه بین این بخش‌ها وجود داشته باشد. از این‌رو تلاش‌هایی برای یافتن ارتباط مکانی نمونه‌ها و موقعیت آن‌ها شروع شد. اولین بار شخصی به نام کریگ که کارشناس معدن بود، وجود ارتباط مکانی بین نمونه‌ها را برای ارزیابی ذخایر معدنی پیشنهاد کرد. پس از آن ماترون در دهه ۱۹۶۰ به توسعه روش‌های آماری در علوم زمین پرداخت که نتیجه آن، ابداع شاخه جدیدی از علم آمار تحت عنوان زمین‌آمار بود (مدنی، ۱۳۷۳).

از میان روش‌های آماری مورد استفاده به منظور تخمین مقدار خطای برداشت متغیر مورد نظر در شبکه ایستگاه‌های پایش موجود روش زمین‌آمار (Geostatistics) دارای برتری‌های زیر می‌باشد:

- (۱) در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند فاقد اطلاعات موقعیتی در فضا هستند و در نتیجه مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خاص هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه دیگری به فاصله

معین دربر نخواهد داشت. به عبارتی دیگر نتایج بدست آمده از اندازه گیری نمونه ها مستقل از موقعیت فضایی آنها مورد تحلیل قرار می گیرد. در حالیکه در زمین آمار علاوه بر مقدار یک کمیت در یک نمونه موقعیت فضایی نمونه نیز مورد توجه قرار می گیرد. این ارتباط مکانی بین مقدار یک کمیت و در قالب روابط ریاضی بیان می شود.

(۲) در تخمین متغیرهای مکانی بر اساس روش های آمار کلاسیک امکان محاسبه خطای تخمین به صورت کلی آن یعنی محاسبه میانگین خطای تمام تخمین ها امکان پذیر است ولی دسترسی به توزیع خطای تخمین با استفاده از این روش ها امکان پذیر نمی باشد. روش های زمین آمار بر خلاف آمار کلاسیک امکان محاسبه خطای تخمین را برای کوچکترین واحد مورد تخمین در اختیار می گذارد لذا امکان دستیابی به توزیع خطاها فراهم می شود.

(۳) نکته دیگر در مورد تخمین های ناشی از روش های آمار کلاسیک وجود خطای سیستماتیک و در نتیجه اریب^۱ بودن نتایج حاصل از تخمین متغیر بر اساس روش های آماری می باشد، در صورتی که تخمین ها در زمین آمار اساساً نااریب^۲ می باشند.

(۴) همانطور که گفته شد روش های زمین آمار همراه هر تخمین مقدار خطای استاندارد آن تخمین را نیز می دهد و به این ترتیب نه تنها می توان مقدار خطای متوسط در کل منطقه مورد مطالعه را محاسبه نمود بلکه توزیع خطاها نیز قابل استحصال است. با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد روش های زمین آمار، می توان نقاطی را که در آن مقدار خطای تخمین بالاست و نیاز به داده برداری بیشتر در آن نقاط می باشد را مشخص نموده و تحت پوشش لازم قرار داد. از طرفی می توان میزان کاهش واریانس تخمین در کل منطقه را به ازای اضافه نمودن یک یا چند ایستگاه به مجموعه ایستگاه های موجود در شبکه قبل از نصب آن بررسی نمود و بنابراین می توان

^۱ Biased

^۲ Unbiased

بهترین نقاط برای نصب ایستگاه یا ایستگاه‌های جدید نمونه‌برداری را مشخص کرد. در واقع در این طرح با استفاده از ویژگی آخر روش‌های زمین‌آمار اقدام به تعیین شبکه پایش بهینه نمونه‌برداری متغیرهای بارندگی و سطح ایستابی می‌شود. در فصول بعدی تئوری و مبانی روش زمین‌آمار شرح داده خواهد شد (دلبری، ۱۳۷۷).

۲-۲ اهمیت و ضرورت استفاده از تکنیک‌های میان‌یابی متغیرهای مکانی

بیشتر داده‌های مربوط به متغیرهای محیطی مانند بارندگی، رواناب، عمق سطح آب زیرزمینی و ارتفاع پیزومتریک، از منابع نقطه‌ای جمع‌آوری می‌شوند. گاهی ممکن است مجموعه مکانی جمع‌آوری شده از این داده‌ها قادر نباشند که امکانات لازم برای تخمین و برآورد پارامترهای مورد نظر در نقاط فاقد نمونه را فراهم نماید. لذا انتخاب روش میان‌یابی دارای اهمیت زیادی است. در نواحی کوهستانی فراوانی داده‌های جمع‌آوری شده کم است و اندازه‌گیری‌ها برای متغیر مورد نظر ممکن است حتی در مقیاس‌های مکانی کوچک نیز بسیار متفاوت باشند (آب منطقه‌ای قزوین، ۱۳۸۵).

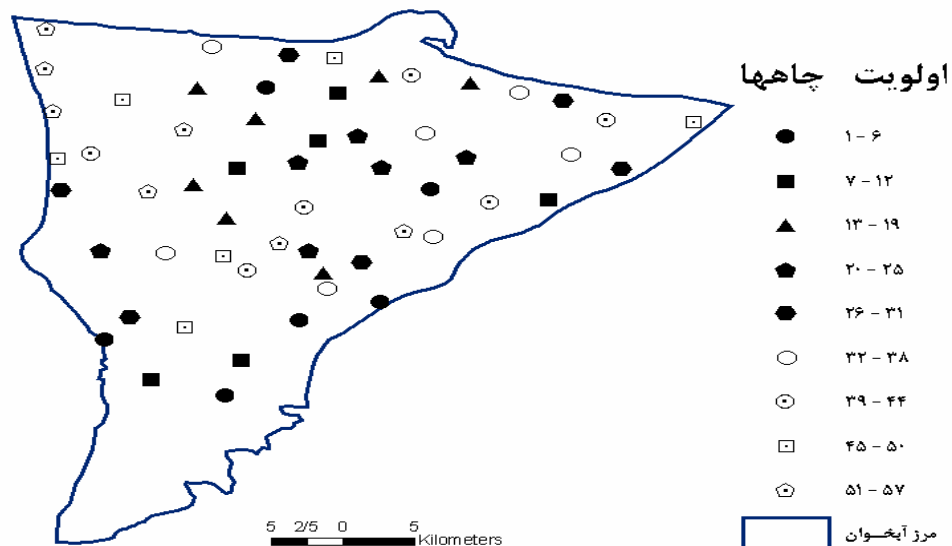
زمانی که تراکم نقاط اندازه‌گیری داده‌ها زیاد باشد، تکنیک‌های میان‌یابی منجر به نتایج نسبتاً واقعی می‌گردد اما زمانی که تراکم نقاط اندازه‌گیری داده‌ها بواسطه جنبه‌های اقتصادی، خصوصیات فیزیوگرافی و غیره کمتر می‌شود، فرضیات پایه مربوط به تغییرات مکانی متغیر مورد نظر بین نقاط اندازه‌گیری شده برای هر روش میان‌یابی ظهور کرده و اثرشان مشهودتر می‌شود. در این حالت انتخاب روش‌های میان‌یابی مناسب‌تر و در نظر گرفتن مقدار مناسب برای پارامترهای آنها اهمیت فراوانی پیدا می‌کند (Collins، ۱۹۹۶).

تاکنون از روش‌های آماری و زمین‌آماري جهت بهینه‌سازی شبکه‌های پایش کمی یا کیفی آب زیرزمینی در مطالعات مختلفی استفاده شده‌است (کراچیان، ۱۳۸۵ و Li، ۲۰۰۴ و Marinoni، ۲۰۰۴ و Olea، ۱۹۹۹ و Yeh، ۲۰۰۶). در همه این تحقیقات از پارامترهای آماری خطای سطح ایستابی برای کنترل محاسبات استفاده شده که محاسبه این پارامتر خطا، خود بستگی به شبکه پیزومتری دارد و در صورت کمبود چاه مشاهده‌ای، امکان محاسبه دقیق آن وجود ندارد.

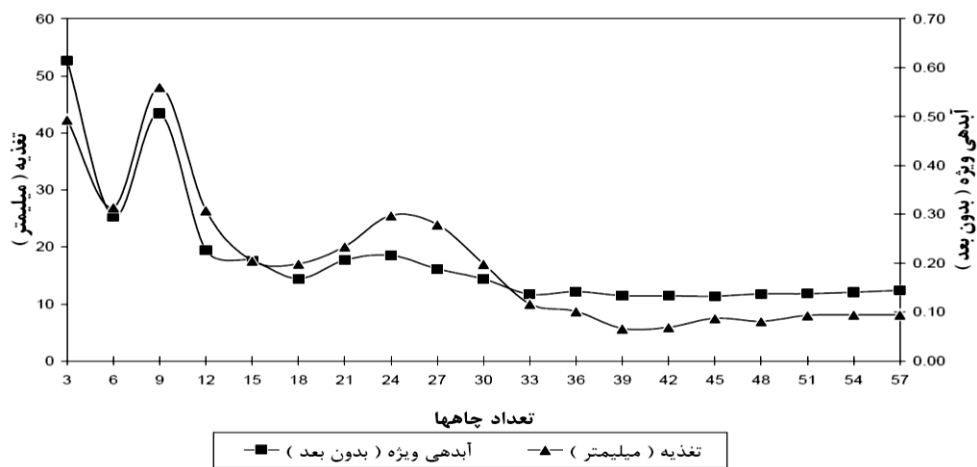
از آنجا که آمار کلاسیک قادر به در نظر گرفتن توزیع مکانی پارامترهای کیفی و کمی آب‌های زیرزمینی نبوده لذا از زمین‌آمار به عنوان تکنیکی برای این هدف استفاده می‌شود. این تکنیک برای اولین بار حدود نیم قرن پیش برای شناسایی الگوهای توزیع طلا در معادن آفریقای جنوبی توسط یک مهندس معدن به نام کریج آغاز شد (Oliver, ۱۹۸۹). ژئواستاتستیک به عنوان شاخه‌ای از علم آمار کاربردی محسوب شده و دربرگیرنده مجموعه روش‌های آماری به منظور تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی می‌باشد استفاده از زمین‌آمار در علوم محیطی و از جمله مهندسی آب پیشینه‌ای طولانی دارد به نحوی که محققین زیادی در ایران و جهان در رابطه با پهنه‌بندی عناصر، و نقشه‌سازی پارامترهای کمی و کیفی آب، تلاش‌های بسیاری نموده‌اند که راهگشای حل مسائل بخش آب شده‌اند (Cressie, ۱۹۹۸). روش احتمالاتی مورد استفاده برای طراحی شبکه پایش بر اساس کریجینگ (kriging) و تغییرنا (variogram) پایه‌گذاری شده است. زمین‌آمار فرآیندی است که طی آن می‌توان مقدار یک کمیت را در نقاطی با مختصات معلوم بدست آورد. در زمین‌آمار از روش‌های متنوعی برای تخمین مقدار یک متغیر در یک مکان معین استفاده می‌شود، در هر روش برای تخمین متغیر مورد نظر از یک تخمین‌گر استفاده می‌شود. معروف‌ترین تخمین‌گر در علم زمین‌آمار کریجینگ نام دارد (Hooshmand, ۲۰۱۱). محققین مختلفی از این روش جهت بهینه‌سازی شبکه پایش استفاده نموده‌اند. محققان در سال ۲۰۰۹ در ناحیه Heretaunga Plains, New Zealand با ترکیب نقشه‌های آسیب‌پذیری و زمین‌آمار، روش جدیدی را پیشنهاد نموده‌اند که به بهینه‌سازی شبکه پایش کیفی منابع آب زیرزمینی در مقیاس منطقه‌ای کمک نموده است (Baalousha, ۲۰۱۰).

در یک تحقیق، روشی جهت بهینه نمودن شبکه پایش به‌طوری که بتوان بیلان آب زیرزمینی را با دقت مناسب تخمین زد، ارائه داده‌اند. این تحقیق که بر روی دشت کوچصفهان استان گیلان انجام شده است؛ نشان داده با تقلیل تعداد چاه‌ها از ۵۷ حلقه به ۳۳ حلقه و با جانمایی بهینه حلقه‌های چاه می‌توان مقدار بیلان آب زیرزمینی را بدون تغییر قابل ملاحظه‌ای به‌دست آورد. در شکل (۱-۲) دشت کوچصفهان نشان داده شده که اولویت بندی چاه‌های مشاهداتی را مشخص کرده است. به این ترتیب

که تاثیر گذارترین چاه‌ها جهت تعیین شبکه پایش آبخوان با علائم مشخص شده‌اند. همچنین در شکل (۲-۲) مقدار محاسباتی تغییرات میزان تغذیه به نسبت آبدهی ویژه، با تغییر در تعداد چاه‌ها نشان داده شده است. همانطور که از نمودار پیداست؛ با توجه به عدم تغییر قابل ملاحظه نمودار، از تعداد ۳۳ چاه به بالا، همین تعداد چاه جهت شبکه پایش بهینه پیشنهاد شده است (گنجی خرم‌دل، ۱۳۸۷).



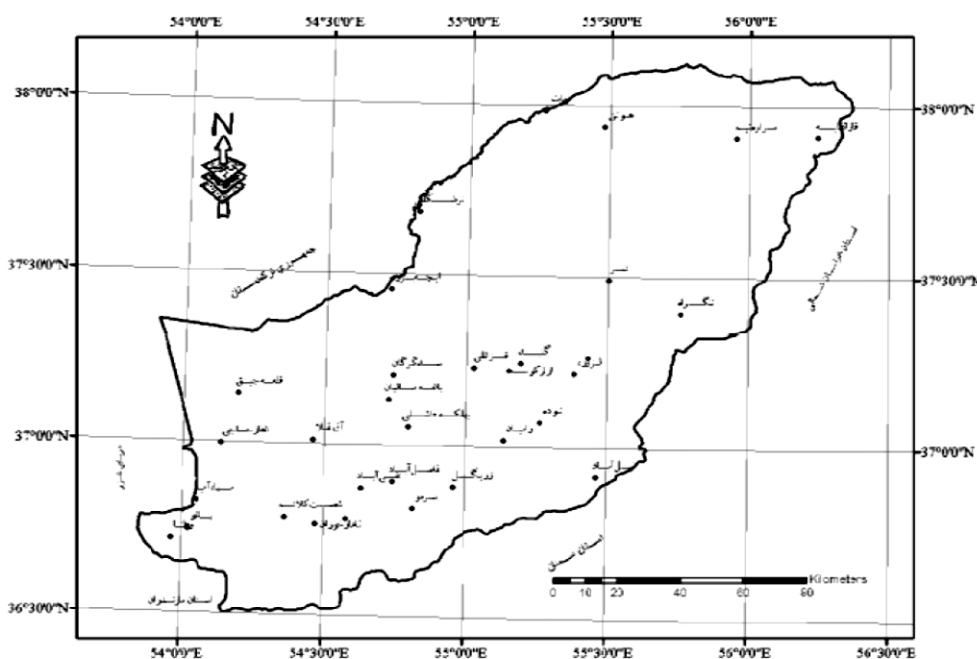
شکل (۲-۱) منطقه مورد مطالعه و اولویت‌بندی چاه‌ها



شکل (۲-۲) نمایش مقادیر تغذیه و آبدهی ویژه در مقابل تعداد مختلف چاه‌های مشاهده‌ای

در تحقیقی برای انتخاب ترکیب بهینه ایستگاه‌ها و به منظور کاهش تعداد ایستگاه‌ها از ۳۳ به ۱۴ در شبکه پایش کیفی آب، در حوضه رودخانه Gediz بهینه‌سازی انجام گرفت (Yilmazicaga, ۲۰۰۸). در سال‌های اخیر از روش‌های زمین‌آماري به عنوان یکی از روش‌های مناسب برای درون‌یابی متغیرهای ناحیه‌ای استفاده شده است. برای مثال در تحقیقی از میان روش‌های زمین‌آماري به عنوان یکی از روش‌های مناسب برای درون‌یابی متغیرهای ناحیه‌ای، روش کریجینگ به عنوان بهترین تخمین‌گر نارایب خطی مورد ارزیابی قرار گرفت؛ که طبق پیش‌بینی‌ها، این روش به عنوان برترین تخمین‌گر نارایب خطی برگزیده شد (نیک‌رو، ۱۳۸۶). در تحقیقی، هدف از استفاده از روش‌های زمین‌آماري تهیه یک نیم-تغییرنما (Semi-variogram) از خصوصیات سفره آب زیرزمینی بوده است. محققان نیم-تغییرنما را بیشتر یک شبیه‌سازی از الگوی تغییرات مقدار افت هیدرولیکی اندازه‌گیری شده در مدل جریان آب زیرزمینی می‌دانسته‌اند (Garcia, ۲۰۰۶).

در تحقیقی منطقه گلستان مورد مطالعه قرار گرفت، این تحقیق روش‌های مختلف درون‌یابی در پهنه‌بندی خشکسالی استان گلستان را مورد ارزیابی قرارداد. در شکل (۲-۳) موقعیت جغرافیایی

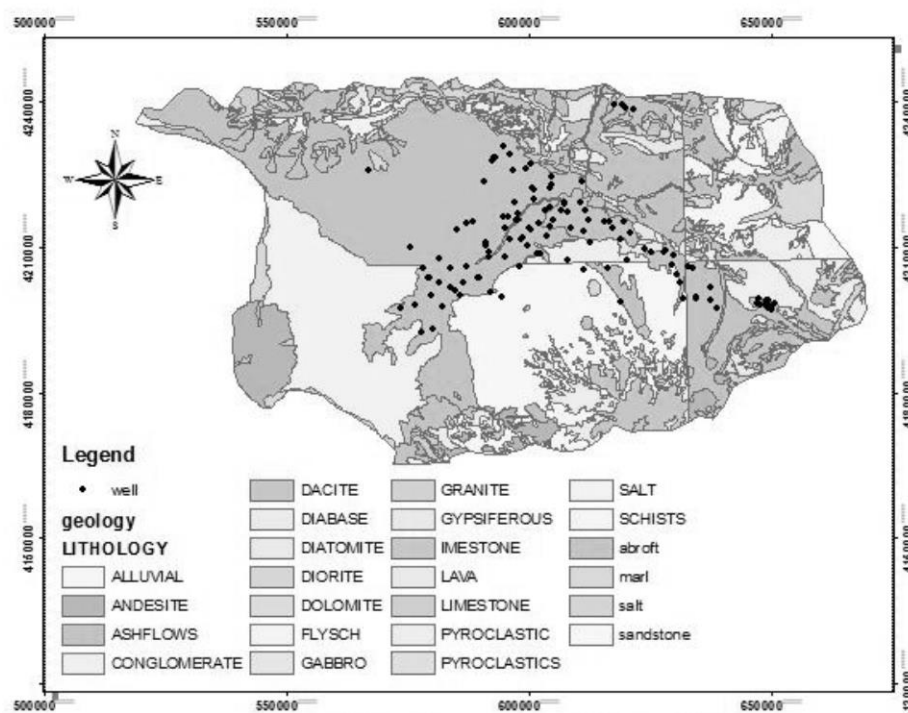


شکل (۲-۳) موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های منتخب در استان گلستان

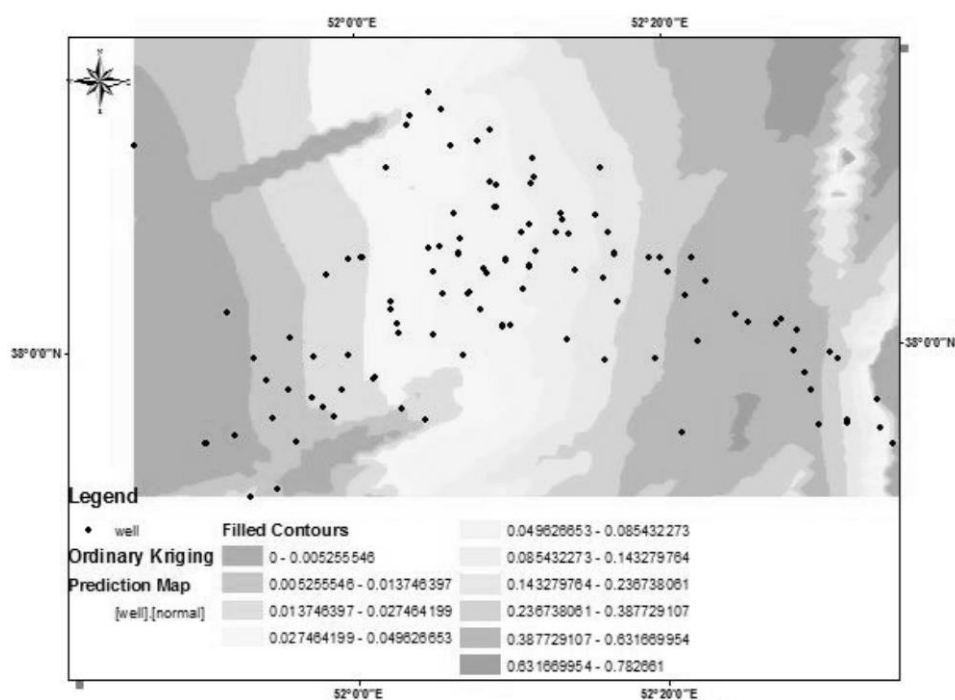
ایستگاه‌های منتخب در استان گلستان را نشان می‌دهد. در منطقه گلستان به منظور پایش و سنجش خشکسالی از روش درونیابی قطعی (IDW, GPI, RBF) و زمین‌آماری استفاده شد. با ارزیابی نتایج به دست آمده نشان داده شد که روش‌های زمین‌آماری نسبت به روش‌های قطعی برتر می‌باشند (عیوضی، ۲۰۰۸).

در تحقیقی که بر روی دشت تبریز انجام گرفت؛ دقت مدل‌های کریجینگ و کوکریجینگ برای تراز آب زیرزمینی را مورد مقایسه قرار گرفت و نتایج نشان داد که روش کریجینگ از دقت بیشتری برخوردار است (فروغی، ۱۳۹۲).

در مقاله‌ای سعی شده است با کاربرد روش کریجینگ، شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت تبریز مورد بررسی قرار گیرد و محل قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای بهینه‌سازی گردد؛ این تحقیق نشان داد که می‌توان با داشتن حداقل ۶۱ درصد کل داده‌ها (۹۴ حلقه چاه) ارتفاع سطح آب را در بقیه چاه‌ها در سطح اطمینان ۹۵ درصد تخمین زد. ولی افزایش چاه در شبکه نمونه‌برداری و همچنین تغییر مکان چاه‌ها، تاثیری در کاهش خطای تخمین نداشت. در شکل (۲-۴) موقعیت قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای دشت تبریز نشان داده شده است و شکل (۲-۵) نتایج حاصله از کریجینگ آورده شده است که نشان می‌دهد ۶۱ درصد چاه‌ها برای تهیه شبکه پایش کافی می‌باشد. این نقشه، نقشه خطای استاندارد مربوط به برازش مدل کریجینگ می‌باشد (فروغی، ۱۳۹۲).



شکل (۲-۴) موقعیت قرارگیری چاه‌های مشاهده‌ای دشت تبریز



شکل (۲-۵) نقشه خطای استاندارد مربوط به برازش مدل کریجینگ با ۶۴ درصد چاه‌ها (جانمایی بهینه)

در مقاله‌ای با توجه به اهمیت در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در مسأله پایش نشت آلودگی، یک مدل غیرقطعی برای تشخیص خصوصیات منبع آلاینده آب زیرزمینی ارائه شده است. الگوریتم پیشنهادی شامل یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه است که با مدل‌های شبیه‌سازی خودکار کمی و کیفی آبخوان پیوند یافته است. تحلیل داده‌های حاصل از سیستم پایش برای شناخت خصوصیات منبع آلاینده با استفاده از مدل شبیه‌سازی ماشین‌های بردار پشتیبان احتمالاتی صورت گرفته است. روش پیشنهادی با استفاده از اطلاعات آبخوان تهران در منطقه پالایشگاه تهران ارزیابی شده است که نتایج نشان دهنده کارایی مناسب این روش در شناخت خصوصیات منبع آلاینده است (کراچیان، ۱۳۸۹).

در مقاله‌ای برای توسعه شبکه پایش کیفی آبخوان و با تابع هدف صرفه جویی در هزینه‌ها تعدادی چاه مشاهده‌ای با استفاده از روش کریجینگ پیشبینی شد (Garcia، ۲۰۰۶).

در سال ۲۰۰۷ یک سری مطالعات پایه‌ای برای نظارت طولانی مدت بر آبخوان انجام گرفت. این مطالعات به منظور تهیه شبکه پایش بهینه جهت پایش کیفی آبخوان بود. به این ترتیب که با استفاده از کریجینگ برای تمام نقاط منطقه واریانس مقدار خطا اندازه گیری شد و در نقاط با بیشترین واریانس تخمین، پیشنهاد احداث چاه مشاهده‌ای جدید شد (Ahmadi، ۲۰۰۷).

طی تحقیقی، به جهت بهینه‌سازی شبکه پایش آبخوان دشت پینگ‌تونگ (Pingtung) تایوان مدل ترکیبی کریجینگ و الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفت. تابع هدف در این تحقیق صرفه اقتصادی طرح برای پایش کیفیت آب زیرزمینی بوده است به طوریکه هیچ اطلاعات زایدی وجود نداشته باشد. پارامتر کیفیت آب زیرزمینی، وجود و مقدار ۹ فلز سنگین در آب زیرزمینی بوده است. که در نهایت توانسته تعداد چاه‌های مشاهده‌ای را تقلیل دهد. در این تحقیق تعداد چاه‌های مشاهداتی ۳۴ حلقه بود که برای مقایسه و کم کردن تعداد حلقه‌های چاه‌ها به ترتیب ۲۰، ۲۵ و ۳۰ حلقه چاه انتخابی توسط الگوریتم مورد ارزیابی قرار گرفت که تعداد ۲۰ حلقه چاه می‌توانست در ۷۰ درصد موارد، پیشبینی درستی داشته باشد. این مقدار در تعداد ۲۵ حلقه چاه به ۹۲ درصد رسید و در ۳۰ حلقه چاه به ۹۵

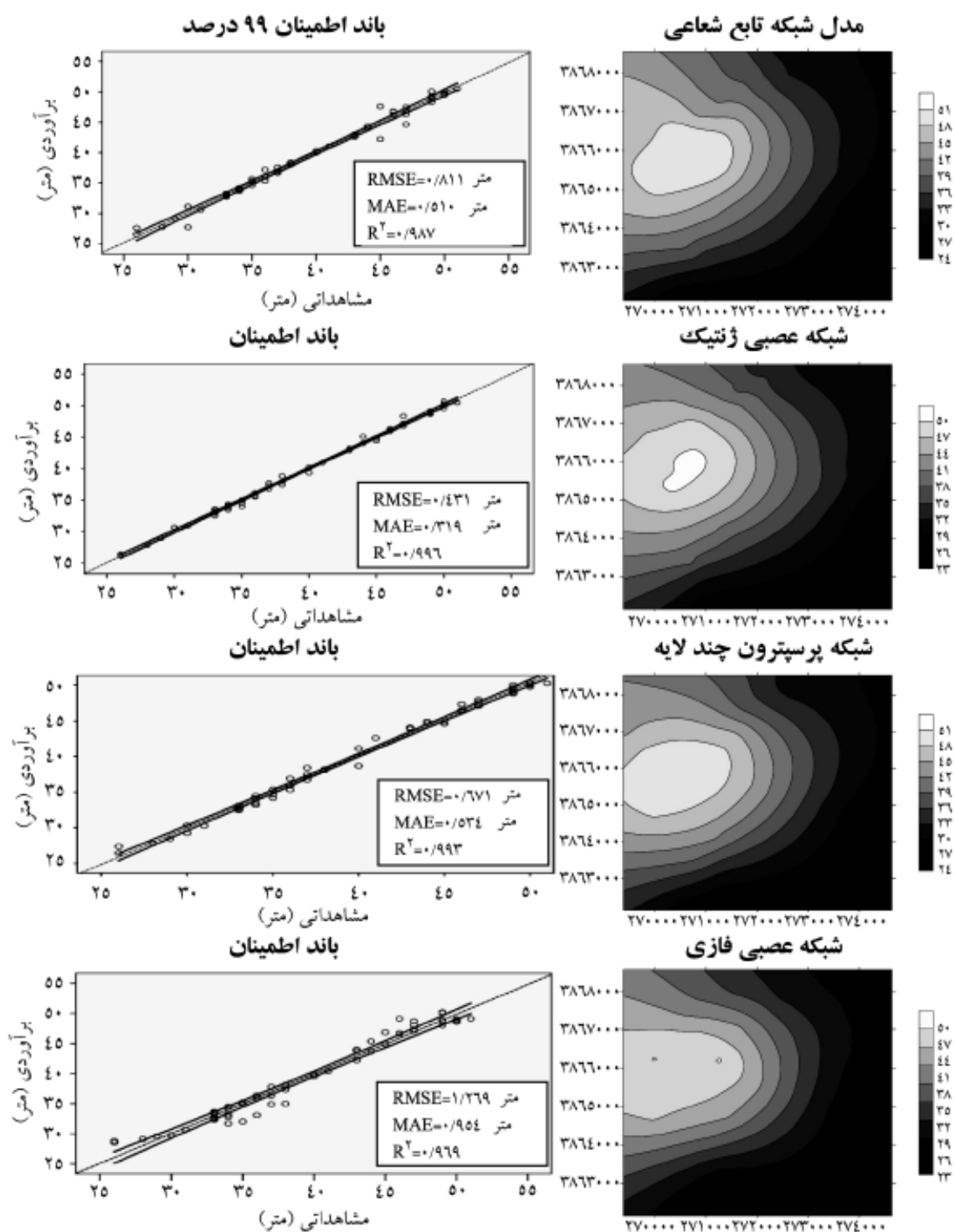
درصد رسید که با توجه به اهمیت کیفیت آب، تعداد ۲۵ حلقه چاه برای منطقه برگزیده شد (Grabow).

(۱۹۹۳)

۳-۲ ضرورت استفاده از الگوریتم ژنتیک جهت بهینه‌سازی

محدوده کاری الگوریتم ژنتیک بسیار وسیع می‌باشد و هر روز با پیشرفت روزافزون علوم و تکنولوژی استفاده از این روش در بهینه‌سازی و حل مسائل بسیار گسترش یافته است. الگوریتم ژنتیک یکی از زیر مجموعه‌های محاسبات تکامل یافته می‌باشد که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد در واقع الگوریتم ژنتیک یکی از زیرمجموعه‌های هوش مصنوعی می‌باشد. الگوریتم ژنتیک را می‌توان یک روش جستجوی کلی نامید که از قوانین تکامل بیولوژیک طبیعی تقلید می‌کند. الگوریتم ژنتیک بر روی یک سری از جواب‌های مساله، به امید بدست آوردن جواب‌های بهتر، قانون بقای بهترین را اعمال می‌کند. در هر نسل به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب‌ها و تولید مثل جواب‌های انتخاب شده به کمک عملگرهایی که از ژنتیک طبیعی تقلید شده‌اند، تقریب‌های بهتری از جواب نهایی به دست می‌آید. این فرایند باعث می‌شود که نسل‌های جدید با شرایط مساله سازگارتر باشد (Reed, ۲۰۰۰).

برای مثال در تحقیقی برای توسعه کاربرد مدل‌های الگوریتم ژنتیک، زمین‌آمار، مدل‌های عصبی-فازی و شبکه‌های پرسپترون چند لایه به جهت برآورد توزیع مکانی سطح ایستابی دست به مقایسه ترکیبی این روش‌ها زده شد. نتایج به دست آمده از مقایسه این روش‌ها در شکل (۲-۶) آورده شده است. شکل نشان می‌دهد کم‌ترین مقدار خطای برآورد مربوط به روش تلفیقی عصبی-ژنتیک می‌باشد و بیش‌ترین مقدار خطا مربوط به روش عصبی-فازی است (زارع ابیانه و بیات ورکشی، ۱۳۹۲).



شکل (۲-۶) نمودار مقادیر پهنه بندی شده و برآوردی از روش های مختلف.

محققان در تحقیقی به مقایسه سرعت رسیدن به حل مسئله پرداختند و بر اساس نمونه‌های عددی نتیجه گرفتند که، روش‌هایی که نتایج بهینه تولید می‌کنند، تنها برای مسئله‌های با اندازه کوچک مناسب است. براین اساس یک الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله در اندازه‌های متوسط و بزرگ ارائه شده است به طوری که زمان حل به میزان بهینه یا نزدیک به آن کاهش پیدا کرده است. نمونه‌های عددی نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ارائه شده کارا و مؤثر می‌باشد (فخرزاد و عظیم‌زاده ، ۱۳۹۳).

در تحقیق دیگری محققان به مقایسه روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه خطوط انتقال آب پرداخته‌اند. بدین منظور جهت تحلیل خط انتقال از روش خطوط مشخصه و برای طراحی بهینه از روش بهینه‌سازی نامقید استفاده شد. به این صورت که در بیان فرمول‌بندی مسئله، قطر و ضخامت لوله به‌عنوان متغیرهای تصمیم در نظر گرفته شد. قیود هیدرولیکی خط انتقال به صورت ضمنی و از طریق برنامه تحلیل خط انتقال تامین گردیده شد. در این تحقیق الگوریتم ژنتیک عملکرد بهتری نسبت به برنامه‌ریزی خطی داشت. در واقع قابلیت روش‌های برنامه‌ریزی ریاضی و الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه قطر و ضخامت لوله‌های مورد استفاده در خطوط انتقال آب مورد بررسی قرار گرفته است. این مقایسه با فرض پیوسته بودن قطر و ضخامت لوله‌ها صورت گرفته است، که در مورد پروژه‌های بزرگ و خاص موضوعیت می‌یابد. بدیهی است در سیستم‌های با ظرفیت کم، که امکان استفاده از لوله‌های تیپ موجود در بازار در فرآیند طراحی وجود دارد، روش‌های NLP از قابلیت بالایی برخوردار نبوده و استفاده از الگوریتم ژنتیک بیشتر موضوعیت خواهد داشت (افشار ، ۱۳۸۳).

محققان جهت مدلسازی ساختار مکانی عناصر آلاینده سفره آب زیرزمینی دشت قزوین برای تدوین الگوی بهینه پایش کیفی و ارائه سیستم هوشمند دست به تحقیقات گسترده‌ای زده‌اند. به منظور مدلسازی تغییرات مکانی ۹ آلاینده در آبخوان دشت قزوین دست به مقایسه سه مدل کریجینگ، مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-الگوریتم ژنتیک و مدل ترکیبی شبکه عصبی مصنوعی-سیستم استنتاج فازی پرداخته‌اند. نتایج این تحقیق نشان داد که استفاده از مدل جعبه سیاه شبکه عصبی مصنوعی و

مجهز نمودن آن با الگوریتم های دیگر به صورت ترکیبی مانند الگوریتم ژنتیک و تئوری مجموعه های فازی، می تواند سبب ارتقاء آن مدل نسبت به مدل آماری محض کریجینگ گردد (خیاط خلقی، ۱۳۸۵).

۲-۳-۱ برخی از کاربرد الگوریتم های ژنتیک با توجه به تحقیقات گذشته

- توپولوژی های شبکه های کامپیوتری توزیع شده
- بهینه سازی ساختار مولکولی شیمیایی (شیمی)
- مهندسی برق برای ساخت آنتن های Crooked-Wire Genetic Antenna
- مهندسی نرم افزار
- بازی های کامپیوتری
- مهندسی مواد
- مهندسی سیستم
- رباتیک (Robotics)
- تشخیص الگو و استخراج داده (Data mining)
- حل مسئله فروشنده دوره گرد
- آموزش شبکه های عصبی مصنوعی
- یاددهی رفتار به ربات ها با الگوریتم ژنتیک
- یادگیری قوانین فازی با استفاده از الگوریتم های ژنتیک

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۱-۳ مقدمه

زمین‌آمار، طبق تعریف اروپایی، شاخه‌ای از علم آمار بر مبنای تئوری متغیرهای ناحیه‌ای است که توسط ماترون پایه‌گذاری شده و با متغیرهای مکانی سروکار دارد و از این رو هم‌ردیف آمار مکانی می‌باشد. زمین‌آمار در مفهوم آمریکایی خود، تعریف کلی‌تری داشته و کاربرد تمامی روش‌های آماری در علوم زمین، از جمله آمار مکانی و کلاسیک را شامل می‌شود (کارآموز و کراچیان، ۱۳۸۲).

۲-۳ تئوری‌های زمین‌آمار

در بررسی‌های آمار کلاسیک نمونه‌هایی که از کل جامعه به منظور شناخت آن برداشت می‌شوند، فاقد اطلاعات مکانی در فضا بوده و در نتیجه مقدار اندازه‌گیری شده یک کمیت معین در یک نمونه خالص، هیچ‌گونه اطلاعی در مورد مقدار همان کمیت در نمونه اندازه‌گیری در فاصله معین و معلوم دربر نخواهد داشت. در حالیکه در زمین‌آمار علاوه بر مقدار یک کمیت معین در یک نمونه موقعیت مکانی نمونه نیز مورد توجه قرار می‌گیرد.

بدین لحاظ می‌توان موقعیت مکانی نمونه‌ها را همراه با مقدار کمیت مورد نظر بطور یک‌جا مورد تحلیل قرار داد. به عبارت دیگر باید بتوان بین مقادیر مختلف یک کمیت در جامعه، نمونه‌ها و فاصله نمونه‌ها و جهت قرارگیری آن‌ها نسبت به هم ارتباطی برقرار کرد. این ارتباط مکانی (فاصله‌ای و جهتی)

بین مقدار یک کمیت در جامعه نمونه‌های برداشت شده، ممکن است در قالب‌های ریاضی قابل بیان باشد. به این قالب‌های ریاضی ساختار مکانی گفته می‌شود.

بنابراین در زمین‌آمار ابتدا به بررسی وجود یا عدم وجود ساختار مکانی بین داده‌ها پرداخته می‌شود و سپس در صورت وجود ساختار مکانی، تحلیل داده‌ها انجام می‌گیرد. البته ممکن است نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی در قالب ساختار مکانی بهم وابسته باشند. در این حالت بدیهی است که میزان شباهت بین مقادیر مربوط به نمونه‌های نزدیک‌تر احتمالاً بیشتر است؛ زیرا در صورت وجود ساختار فضایی، تغییرات ایجاد شده در یک فضای معین، شانس بیشتری برای تأثیرگذاری روی فضاهای نزدیک به خود نسبت به فضاهای دورتر از خود دارند. بنابراین از دیدگاه زمین‌آماري هر نمونه تا یک حداکثر فاصله معین با نمونه‌های اطراف خود ارتباط دارد. این حداکثر که دامنه تأثیر نامیده می‌شود دارای اهمیت فراوانی است و در حقیقت نشان دهنده فاصله‌ای است که در آن می‌توان از تخمین‌گرهای زمین‌آماري استفاده کرد. با توجه به توضیحات فوق معلوم می‌گردد که در زمین‌آمار می‌توان با استفاده از داده‌های یک کمیت در مختصات معلوم مقدار همان کمیت در نقطه‌های با مختصات معلوم دیگر (واقع در درون دامنه‌ای که ساختار مکانی حاکم است) تخمین زد (حسنی پاک، ۱۳۸۹).

۳-۳ مفاهیم کلیدی زمین‌آمار

مهم‌ترین مفاهیم زمین‌آماري شامل متغیر ناحیه‌ای (Regionalized variable)، تغییرنا (Variogram) و واریانس تخمین (Estimation variance) می‌باشد.

۳-۳-۱ متغیر ناحیه‌ای

متغیر ناحیه‌ای به متغیری گفته می‌شود که در فضای سه بعدی توزیع شده باشد. مشخصه‌هایی مثل ریزش باران، توزیع درصد تخلخل، ارتفاع سطح زمین و ضخامت یک سازند، مثال‌هایی از متغیرهای ناحیه‌ای هستند. در واقع متغیر ناحیه‌ای، متغیری تصادفی است که مقدار آن در هر نقطه از مکان، مستقل از مختصات نقطه است و تفاضل مقدار تصادفی در دو نقطه مختلف، به فاصله آن دو نقطه

بستگی دارد. مقدار متغیر ناحیه‌ای در هر نقطه را می‌توان به دو مؤلفه قطعی و تصادفی تجزیه کرد. بنابراین می‌توان نوشت:

$$z(x) = m(x) + y(x) \quad (3-1)$$

که در آن:

$z(x)$: مقدار متغیر ناحیه‌ای در نقطه‌ای به مختصات (x) ,

$m(x)$: مؤلفه قطعی متغیر ناحیه‌ای،

$y(x)$: مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای، می‌باشند.

در عمل، در بسیاری از موارد این تابع آنچنان متغیر است که به زحمت می‌توان مدل ریاضی ساده‌ای بر آن انطباق داد و برای تخمین مقدار متغیر ناحیه‌ای، باید ویژگی‌های این تابع تصادفی را با استفاده از نمونه‌های مجاور محاسبه و مشخص نمود.

۳-۳-۲ نیم‌تغییرنما

نیم‌تغییرنماها برای تشریح ارتباط مکانی یک متغیر به کار رفته و یک ابزار اساسی در زمین‌آمار است. نیم‌تغییرنما هم‌بستگی مکانی بین نقاط اندازه‌گیری شده بر حسب مربع تفاضل دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله آن‌ها بیان می‌شود و کمیتی برداری است که درجه هم‌بستگی و غیرشبیه بودن تغییرات را نشان می‌دهد و با $\gamma(h)$ نمایش داده می‌شود.

۳-۳-۳ محاسبه نیم‌تغییرنما

نیم‌تغییرنمای واقعی (تئوری)، از لحاظ عملی قابل دسترس نیست، زیرا محاسبه آن نیازمند نمونه‌برداری از همه اجزای بی‌نهایت کوچک محیط مورد مطالعه است و این کار در طبیعت غیرممکن است. نوع دیگری از نیم‌تغییرنما وجود دارد که همان نیم‌تغییرنمای تئوری است، ولی این بار در یک فضای کوچکتری بررسی می‌شود که باز هم در طبیعت قابل دستیابی نیست. به این نیم‌تغییرنما، نیم‌تغییرنمای مکانی گفته می‌شود. بنابراین در بررسی‌های زمین‌آماري، معمولاً از نوع دیگری نیم‌تغییرنما که نیم‌تغییرنمای تجربی نام دارد و به وسیله تعداد محدودی از جفت نقاط محاسبه می‌شود، استفاده

می‌گردد. برای محاسبه نیم‌تغییرنما از مربع اختلاف مقادیری که به فاصله h از یکدیگر قرار دارند، استفاده می‌شود. بدین ترتیب می‌توان نوشت:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (2-3)$$

که در آن:

$N(h)$: تعداد جفت نمونه‌ها که در فاصله h از یکدیگر قرار دارند،

$Z(x_i)$: مقدار مشاهده شده متغیر مورد نظر

$Z(x_i + h)$: مقدار مشاهده شده Z می‌باشد که به فاصله h از متغیر مورد نظر قرار دارد.

در یک شبکه منظم، فاصله مورد نظر برای محاسبه نیم‌تغییرنما، فاصله بین نمونه‌هاست. اما در یک شبکه نامنظم شرایط متفاوت است. بطور مثال، اگر $h = 100$ متر باشد، کلیه نقاطی که در فاصله صفر تا ۱۰۰ متری از یکدیگر قرار گرفته‌اند، در محاسبه شرکت می‌کنند و به ازای $h = 200$ نقاطی که بین ۱۰۰ الی ۲۰۰ متری یکدیگر واقعند، در نظر گرفته می‌شوند. در این گونه موارد برای محاسبه نیم‌تغییرنما از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\hat{\gamma}(h) = \frac{\sum_{i=1}^N \{ (h_i) \cdot [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \}}{2 \sum_{i=1}^N (h_i)} \quad (3-3)$$

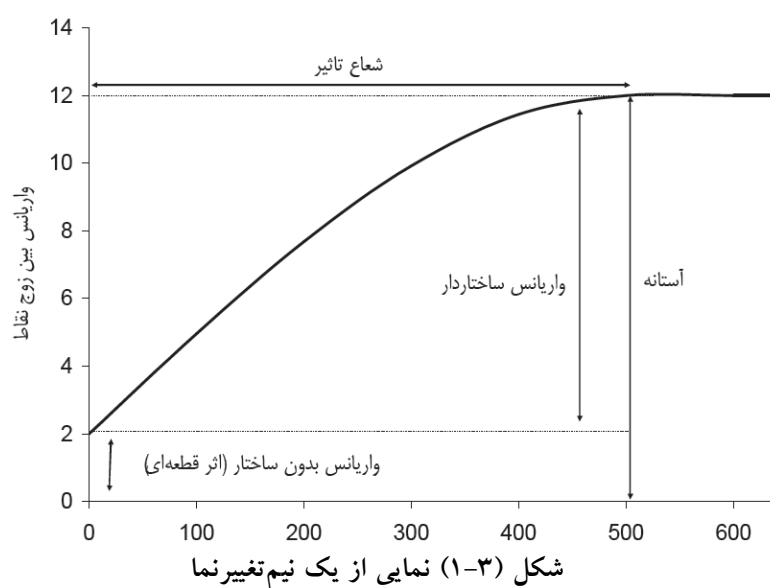
h_i : از محاسبه مجموع فاصله کلیه جفت نقاطی که در دامنه مورد نظر قرار دارند و تقسیم آن

بر تعداد نمونه‌ها به دست می‌آید.

۳-۳-۴ رسم نیم‌تغییرنما

برای ترسیم نیم‌تغییرنما لازم است ابتدا مقدار $\hat{\gamma}(h)$ را به ازای مقادیر مختلف h محاسبه کرد. سپس مقدار نیم‌تغییرنما به ازای فواصل مختلف h در یک نمودار رسم گردد. تغییرنما همان واریانس اختلاف مقدار نقاط به فاصله h از یکدیگر است، مشروط بر اینکه روند وجود نداشته باشد. در صورت وجود روند لازم است قبل از عملیات اثر آن را خنثی و سپس روی مقادیر باقیمانده، تغییرنما را محاسبه کرد. البته از مقادیر کم روند می‌توان با تقریب، چشم پوشی کرد. پس از نقطه‌یابی مقادیر γ با برازش یک مدل به

این نقاط، نیم‌تغییرنمای تجربی به‌دست می‌آید. نوع و مقدار منحنی به‌دست آمده ممکن است با فاصله و جهت تغییر کند که معرف درجه همبستگی، همسانگردی و یا ناهمسانگردی متغیر مکانی می‌باشد. لازم به تذکر است که با افزایش h ، از تعداد جفت نمونه‌هایی که در محاسبه شرکت می‌کنند، کاسته می‌شود و اعتبار و ارزش نیم‌تغییرنما کاهش می‌یابد. با توجه به این نکته می‌توان گفت که چند نقطه اول در نیم‌تغییرنما ارزش بیشتری دارد و در برازش مدل، باید این نکته را مدنظر قرار داد. همچنین با افزایش h ، مقدار نیم‌تغییرنما که در اصل بیانگر مربع اختلاف مکانی دو نقطه به فاصله h می‌باشد، تا حد معینی افزایش می‌یابد و معمولاً این وضعیت تا فاصله معینی ادامه دارد، سپس مقدار نیم‌تغییرنما ثابت می‌شود. این بدان معنی است که نمونه‌ها تا فاصله معینی به یکدیگر شبیه و وابسته هستند و خارج از این دامنه، نمونه‌ها همبستگی مکانی ندارند. شکل (۳-۱)، نمایی از یک نیم‌تغییرنما را نشان می‌دهد.



۳-۳-۵ هم‌تغییرنما

واریانس، معیاری از پراکندگی مقادیر حول میانگین آنهاست. اما کوواریانس، برخلاف واریانس، میزان شباهت تغییرات دو متغیر را نشان می‌دهد. از آنجا که مجموع شباهت و اختلاف سقف ثابتی دارد، لذا

می‌توان به جای معیار تغییرنما که در آن میانگین اختلاف مقادیر نقاطی به فاصله h از یکدیگر استفاده می‌شود، از هم‌تغییرنما که میزان تشابه متوسط دو متغیر را نشان می‌دهد، استفاده کرد. در هم‌تغییرنما به جای واریانس، از هم‌واریانس نقاطی به فاصله h از یکدیگر استفاده می‌شود. طبق تعریف، هم‌واریانس دو متغیر $Z(x_i)$ و $Z(x_i + h)$ از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

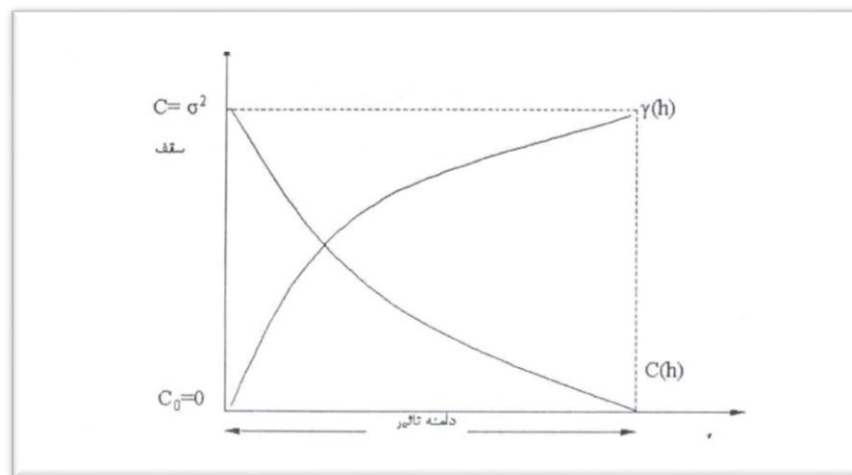
$$C(h) = E\{Z(x) - E[Z(x)]\}\{Z(x + h) - E[Z(x + h)]\} \quad (4-3)$$

در رابطه (۴-۳) نماد $E(\cdot)$ نشانگر امید ریاضی است.

با در نظر گرفتن فرضیاتی که در علم زمین‌آمار مطرح است، رابطه فوق به صورت زیر در می‌آید:

$$\gamma(h) + C(h) = \sigma^2 \quad (5-3)$$

رابطه بین نیم‌تغییرنما و هم‌تغییرنما در شکل (۲-۳) نمایش داده شده است. همانگونه که مشاهده می‌شود تغییرات تغییرنما به نحوی است که در هر نقطه مجموع آن دو برابر سقف است.



شکل (۲-۳) نمایشی از یک هم‌تغییرنما

۳-۳-۶ مشخصات نیم‌تغییرنما

نیم‌تغییرنما تابعی با ویژگی‌های زیر می‌باشد:

$$\gamma(\pm h) \geq 0 \quad (6-3)$$

$$\gamma(h > a) = \sigma^2 \quad (7-3)$$

$$\lim_{h \rightarrow \infty} \gamma(h) = \gamma(\infty) - \sigma^2 \quad (۸-۳)$$

$$\gamma(\infty) = C(0) \quad (۹-۳)$$

$$\gamma(h) + C(h) = \sigma^2 \quad (۱۰-۳)$$

که در آن، a دامنه تأثیر و σ^2 آستانه می‌باشد.

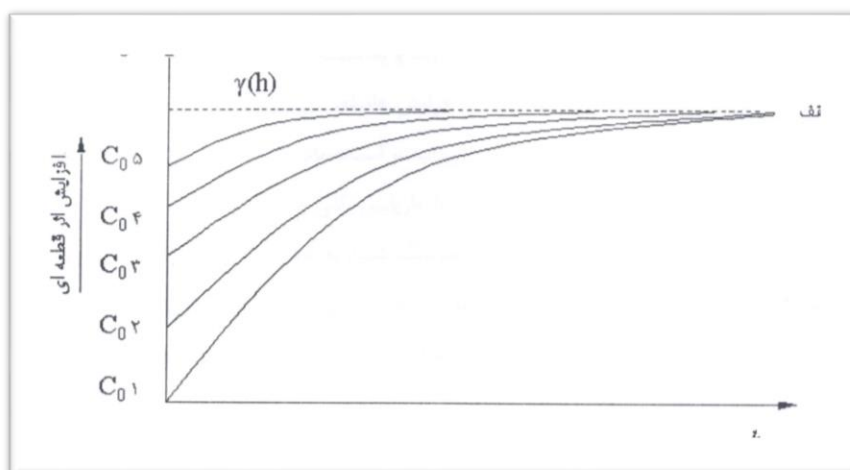
با توجه به شرایط فوق، ویژگی‌های تغییرنا بررسی می‌گردد.

۴-۳ اثر قطعه‌ای

از نظر تئوری مقدار نیم‌تغیرنا باید با کاهش h کم شود و در $h = 0$ به حداقل مقدار خود یعنی صفر تنزل کند. ولی در عمل تغییرناهای واقعی معمولاً از چنین شرایطی تبعیت نمی‌کنند. این امر به معنی آن است که اگر از همان محل قبلی نمونه‌های جدید تهیه گردد، نتیجه تا حدودی متفاوت خواهد شد. به مقدار تغییرنا به ازای $h = 0$ اثر قطعه‌ای گفته می‌شود. با توجه به شکل (۳-۳)، در واقع اثر قطعه‌ای عرض از مبدأ منحنی تغییرنا است که بسیاری از متخصصین آمار آن را مؤلفه بی‌نظمی می‌خوانند. دلایل متعددی در پیدایش اثر قطعه‌ای نقش دارند که از آن جمله می‌توان موارد زیر را نام برد:

(۱) وجود مؤلفه‌های تصادفی در توزیع متغیر که در واقع به تصادفی بودن فرآیندها برمی‌گردد.

(۲) وجود خطای نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز و خطای انسانی.



شکل (۳-۳) تأثیر اثر قطعه‌ای بر تغییرنا

مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای به دو بخش ساختاردار و بدون ساختار تجزیه می‌گردد. اثر قطعه‌ای در واقع معرف بخش بی‌ساختار آن است که به طور معکوس با تعداد نمونه‌ها متناسب می‌باشد. بنابراین در مقایسه اثر قطعه‌ای دو متغیر و تحلیل آن، باید به تعداد نمونه‌هایی که در رسم نیم‌تغییرنما بکار رفته است، توجه نمود. نمودار زیر افزایش اثر قطعه‌ای را نشان می‌دهد که در نهایت به اثر قطعه‌ای تام، یعنی حالتی که کل مؤلفه تصادفی متغیر ناحیه‌ای بی‌ساختار است، نزدیک می‌شود. در چنین حالتی نمونه‌ها مستقل از یکدیگر می‌باشند، لذا مقادیر تمام هم‌تغییرنماها صفر و وزن آماری کلیه نمونه‌ها $\left(\frac{1}{n}\right)$ خواهد شد. اثر قطعه‌ای را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$C_0 = \lim_{h \rightarrow 0} \gamma(h) = \sigma^2 - \lim_{h \rightarrow 0} C(h) \quad (3-11)$$

با توجه به شکل می‌توان معیاری برای استحکام یک ساختار مکانی تعریف نمود. این معیار می‌تواند نسبت $\left(\frac{C_0}{C}\right)$ باشد که C برابر تفاضل اثر قطعه‌ای از مقدار آستانه است. این نسبت، بزرگی مؤلفه بی‌ساختار به مؤلفه ساختاردار را نشان می‌دهد. همچنین می‌توان نسبت $\left(\frac{C_0}{\sigma^2}\right)$ را ملاک قرار داد. این نسبت معرف آن است که چه مقدار از کل تغییرپذیری را اثر قطعه‌ای یا مؤلفه بی‌ساختار تشکیل می‌دهد. اگر این نسبت بزرگتر از $\left(\frac{1}{2}\right)$ باشد، نقش مؤلفه ساختاردار، کمتر از مؤلفه بی‌ساختار است و ساختار مکانی ضعیف بوده و کاربرد زمین‌آمار مفید واقع نمی‌شود.

۵-۳ دامنه تأثیر

دامنه تأثیر، فاصله‌ای (زمانی یا مکانی) بین نمونه‌ها است که از آن به بعد مقادیر متغیر ناحیه‌ای در نقاط مجاور هم، تأثیر چندانی بر یکدیگر ندارند و با افزایش بیشتر فاصله، مقدار تغییرنما تفاوت معنی‌داری نمی‌کند. بدیهی است که دامنه تأثیر بزرگتر دلالت بر ساختار مکانی گسترده‌تر دارد. این گسترش موجب افزایش محدوده مجازی می‌گردد که می‌توان از داده‌های موجود در آن برای تخمین مقدار متغیر ناحیه‌ای یا بلوک مجهول استفاده کرد. دامنه تأثیر تغییرنما در تحلیل با همسانگردی‌های ساختاری و طراحی فاصله بهینه شبکه نمونه‌برداری کاربرد زیادی دارد.

۶-۳ آستانه

با افزایش مقدار h ، مقدار نیم‌تغییرنما افزایش می‌یابد و به حد ثابتی میل می‌کند. بدین ترتیب بعضی از تغییرنماها در نهایت به مقدار ثابتی می‌رسند که از آن به بعد، هر چه فاصله بیشتر شود، مقدار تغییرنما تفاوت معنی‌داری نمی‌کند. این مقدار نسبتاً ثابت که تغییرات آن تصادفی است، آستانه نام دارد و مجموع اثر قطعه‌ای C_0 و بخش ساختاردار نیم‌تغییرنما (C) می‌باشد و معادل با واریانس کلی متغیر مورد مطالعه است. بعضی از نیم‌تغییرنماها در محدوده فواصل مورد نظر، تمایلی به نزدیک شدن به حد ثابت از خود نشان نمی‌دهند و با افزایش فاصله، مقدار نیم‌تغییرنما همواره افزایش می‌یابد. وجود چنین تغییرنمایی می‌تواند بر وجود روند در محدوده مورد مطالعه دلالت کند. در این گونه موارد ممکن است تخمین آماری مناسب نباشد.

۷-۳ ناهمسانگردی

تغییر دامنه و یا آستانه نیم‌تغییرنما با تغییر جهت، ناهمسانگردی نام دارد. از خصوصیت نیم‌تغییرنما می‌توان به عنوان ابزاری در تشخیص ناهمگنی‌هایی که موجب بروز ناهمسانگردی می‌شوند، استفاده کرد. برای رسیدن به این منظور، کافی است نیم‌تغییرنما را در جهات مختلف رسم و سپس با یکدیگر مقایسه نمود. به‌طور کلی دو نوع ناهمسانگردی وجود دارد:

- ناهمسانگردی هندسی

- ناهمسانگردی ناحیه‌ای

الف) ناهمسانگردی هندسی

در حالتی که تغییرنماهای رسم شده در جهات مختلف دارای آستانه یکسان ولی دامنه تأثیر متفاوتی باشند، برای آن کمیت در آن محیط، ناهمسانگردی هندسی وجود دارد. این بدین معنی است که اگر چه تغییرپذیری در جهات مختلف یکسان است ولی بزرگی محدوده‌ای که از آن داده‌ها از خود ساختار

مکانی بروز می‌دهند و در واقع به نحوی با یکدیگر در ارتباطند، در جهات مختلف متفاوت می‌باشد.

شناخت ناهمسانگردی هندسی از دو جنبه اهمیت دارد:

(۱) طراحی شبکه نمونه‌برداری بهینه

(۲) تعیین شعاع جستجو در جهات مختلف در هنگام تخمین به روش کریجینگ

(ب) ناهمسانگردی ناحیه‌ای

هرگاه کل تغییرپذیری با آستانه نیم‌تغییرنما در جهات مختلف متفاوت، ولی دامنه تأثیر یکسان باشد، ناهمسانگردی از نوع ناحیه‌ای است. علت بروز این نوع ناهمسانگردی می‌تواند همگن نبودن شبکه نمونه‌برداری یا توزیع لگاریتمی متغیر مورد نظر باشد، که در این مورد می‌توان با تبدیل داده‌ها ناهمسانگردی را برطرف کرد. اگر پس از تبدیل داده‌ها باز هم تغییر آستانه با تغییر جهت دیده شود، ممکن است ناهمسانگردی در طبیعت متغیر ریشه داشته باشد.

۸-۳ مدل‌های تئوری تغییرنما

قبل از کاربرد تغییرنماهای تجربی در تخمین، لازم است مناسب‌ترین مدل تئوری را بر آن‌ها برازش داد. طرز کار مشابه برازش تابع توزیع احتمال به داده‌هایی است که هیستوگرامی را تشکیل می‌دهند. همانگونه که تعداد مدل‌های توزیع احتمال در آمار کلاسیک محدود است، برای تغییرنما نیز تعداد معدودی مدل شناخته شده است. این مدل‌های تئوریک به دو گروه تقسیم می‌شوند:

- گروه فاقد آستانه

- گروه حاوی آستانه

۸-۳-۱ گروه فاقد آستانه

در مدل‌های فاقد آستانه با افزایش h ، مقدار نیم‌تغییرنما افزایش یافته و به حد ثابتی نمی‌رسد. از انواع مدل‌های قابل برازش در اینگونه نیم‌تغییرنماها، می‌توان مدل‌های زیر را نام برد.

الف) مدل خطی

این نوع مدل خطی مستقیم است که از مبدأ مختصات گذشته و بنابراین تنها با دانستن شیب α ، معادله خط به صورت زیر مشخص می‌گردد:

$$\gamma(h) = \alpha h + C_o \quad (12-3)$$

C_o : اثر قطعه‌ای

حالت تعمیم‌یافته‌ای از این مدل نیز وجود دارد که در آن مقدار h به توان λ می‌رسد ($0 < \lambda < 2$) :

$$\gamma(h) = \alpha h^2 \quad (13-3)$$

ب) مدل گوسین

معادله این مدل به شکل زیر تعریف شده‌است:

$$\gamma(h) = 3\alpha \ln(h) + B \quad (14-3)$$

که در آن α مقدار ثابتی است و به نام پراکندگی مطلق موسوم است. همان‌طوری که از معادله این مدل پیداست نمودار تغییرات $\gamma(h)$ نسبت به $\ln(h)$ یک خط راست با شیب 3α می‌باشد، از آنجا که مدل تغییرنمای گویسن لگاریتمی است، برای مقادیر نظیر $h < 1$ کاربردی ندارد.

ج) مدل سهمی

معادله این مدل به صورت زیر است:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2} \alpha^2 h^2 \quad (15-3)$$

که در آن α^2 مقدار ثابتی است. این منحنی به شکل یک سهمی درجه دوم است که با افزایش h ، مقدار تغییرنما نیز مرتباً افزایش می‌یابد.

۲-۸-۳ گروه حاوی آستانه

در این گروه با افزایش فاصله h ، ابتدا مقدار نیم‌تغییرنما افزایش می‌یابد، سپس به مقداری ثابت می‌رسد. از انواع مدل‌های قابل برازش به این گونه نیم‌تغییرنماها، می‌توان مدل‌های زیر را نام برد:

الف) مدل کروی

این مدل مطابق شکل (۳-۴) از مبدأ مختصات شروع شده و در نزدیکی مبدأ رفتار خطی دارد. با افزایش h ، منحنی به سرعت به سمت مقادیر بیشتر $\gamma(h)$ صعود می‌کند. آنگاه به تدریج از شیب آن کم می‌شود و در فاصله معینی که دامنه تأثیر نامیده می‌شود، به سقف خود می‌رسد. معادله این مدل به شرح زیر است:

$$\begin{cases} \gamma(h) = C_0 + C \left[\left(\frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \right] & a < h \\ \gamma(h) = C_0 + C & a > h \end{cases} \quad (۳-۱۶)$$

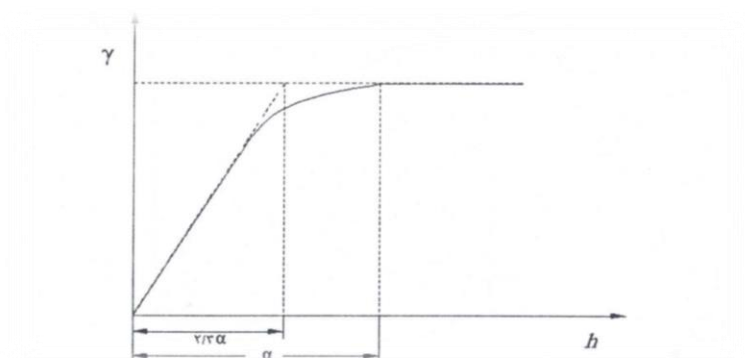
که در آن:

$C_0 + C$: حد آستانه،

C_0 : اثر قطعه‌ای و

a : دامنه تأثیر می‌باشد. در عمل دامنه تأثیر برای مدل کروی را $\frac{2}{3}a$ در نظر می‌گیرند. شکل زیر

نمونه‌ای از یک مدل کروی با اثر قطعه‌ای صفر را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۴) نمونه‌ای از یک مدل کروی با اثر قطعه‌ای صفر

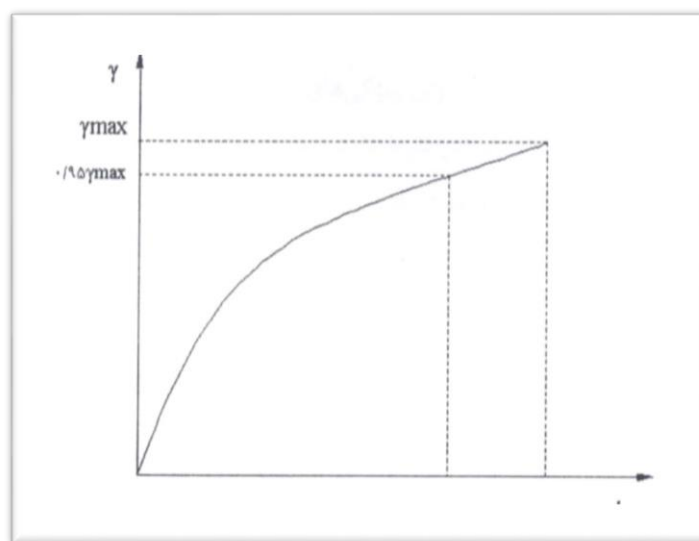
ب) مدل نمایی

مطابق شکل (۳-۵)، این مدل نیز مانند مدل کروی در نزدیکی مبدأ رفتاری خطی دارد، ولی آهنگ صعود آن آرام‌تر از مدل کروی است و عملاً به حد آستانه نمی‌رسد. معادله تغییرنمای مدل نمایی به شکل زیر است:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(\frac{-h}{a}\right) \right] \quad (۳-۱۶):$$

که در آن:

$C_0 + C$: آستانه تغییرنماست که در این مدل برابر ۰/۹۵ حداکثر مقدار تغییرنمای تجربی بدست آمده است. مابقی نمادها مانند موارد قبل می‌باشد.

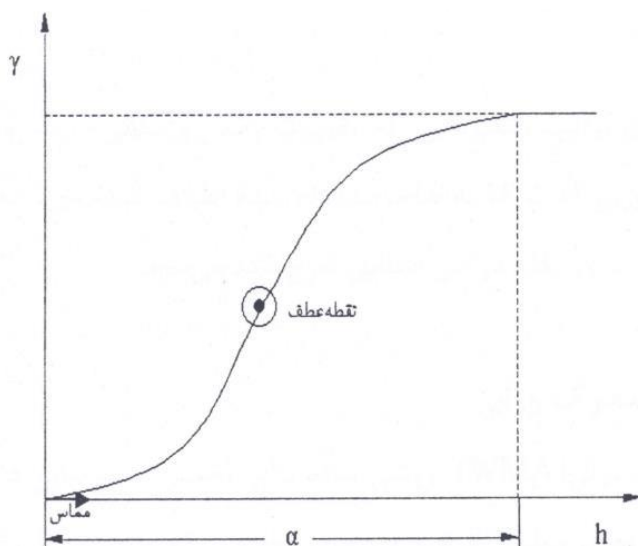


شکل (۳-۵) نمونه‌ای از یک مدل نمایی

ج) مدل گوسی

مدل گوسی از مبدأ گذشته ولی در نزدیکی مبدأ به جای رفتار خطی، برخلاف مدل‌های کروی و نمایی، رفتار سهمی‌گون دارد و شیب آن در این قسمت برابر صفر است. مطابق شکل (۳-۶) مدل گوسی معرف درجه پیوستگی بالای متغیر ناحیه‌ای با معادله زیر می‌باشد:

$$\gamma(h) = C_0 + C \left[1 - \exp\left(-\frac{h^2}{\alpha^2}\right) \right] \quad (3-17)$$



شکل (۳-۶) نمونه مدل گوسی

د) مدل ساختارهای تودرتو

این مدل ترکیبی از چند مدل نیم‌تغییرنا است. معادله این تغییرنا را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\gamma(h) = \gamma_1(h) + \gamma_2(h) + \dots + \gamma_n(h) \quad (3-18)$$

۹-۳ واریانس تخمین

یکی از مهم‌ترین نقاط قوت زمین‌آمار، توانایی آن در محاسبه واریانس تخمین و بنابراین توانایی تعیین سطح اعتماد تخمین می‌باشد [Lin, Yu-Pin., 2001]. این خطا انعکاس‌دهنده اختلاف بین مقدار واقعی کمیت و مقدار تخمین است. بنابراین به تفاضل مقدار واقعی از مقدار تخمین، خطای تخمین گفته می‌شود. این تفاضل یک متغیر تصادفی است. واریانس تخمین که با نماد σ_E^2 نمایش داده می‌شود، نمایشگر واریانس خطای بین مقدار حقیقی و مقدار تخمینی می‌باشد. مقدار این واریانس، با استفاده از

مقادیر متوسط تغییرنما، که خود از طریق توابع کمکی موجود قابل محاسبه هستند، تعیین می‌شود. علاوه بر محاسبه سطح اعتماد، واریانس تخمین در حل بسیاری مسائل دیگر نظیر طراحی شبکه بهینه نمونه‌برداری، محاسبه میزان کاهش خطای برآورد در اثر افزایش نمونه‌برداری قبل از انجام عمل نمونه‌برداری، قضاوت درباره تأثیر شیوه‌های مختلف در نمونه‌برداری و غیره کاربرد دارد.

۳-۹-۱ مراحل آنالیز در زمین‌آمار

به طور کلی یک آنالیز زمین‌آمار می‌تواند به دو مرحله تقسیم گردد:

(۱) آنالیز ساختاری

(۲) بهترین تخمین گر خطی ناریب

آنالیز ساختاری شامل انتخاب یک مدل تغییرات مکانی نظیر یک نیم‌تغیرنما بوده و به همین دلیل گاهی واریوگرافی نیز خوانده می‌شود. انتخاب مدل بر اساس آنالیز داده‌ها و اطلاعات دیگر نظیر تجربه شخصی، اطلاعات زمین‌شناسی و هیدرولوژی و غیره می‌باشد و شامل تکرار مراحل زیر تا انتخاب بهترین می‌باشند:

(۱) آنالیز تجربی داده‌ها

(۲) تخمین پارامترها نظیر انتخاب مقادیر عددی برای پارامترهای نیم‌تغیرنما

(۳) ارزیابی مدل انتخابی

BLUE، به عنوان تابعی خطی از داده‌ها، تخمینی است که دارای مینیمم واریانس بوده، و همچنین ناریب است، که با استفاده از مدل ساخته شده طی آنالیز ساختاری صورت می‌گیرد. به طور خلاصه ایده اصلی این است که یک تابع ناشناخته مثل توزیع عمق بارش روی یک حوزه طی دو مرحله بدست می‌آید.

۱۰-۳ روش‌های تخمین

روش‌های مختلفی برای تخمین وجود دارد که در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان آن‌ها را به روش‌های زمین‌آماري و روش‌های کلاسیک تقسیم کرد. در این مرحله، روش‌های میان‌یابی به کار رفته در این تحقیق شرح داده می‌شود.

۱۰-۳-۱ روش کریجینگ

کریجینگ یک روش تخمین آماری است که با استفاده از مقادیر معلوم و یک تغییرنما، مقادیر مجهول را برآورد می‌کند. این روش بر منطق "میانگین متحرک وزن‌دار" استوار می‌باشد. داده‌های ورودی‌ها در روش کریجینگ معمولاً به طور نامنظم نمونه‌گیری شده‌اند. کریجینگ علاوه بر تخمین مقادیر مجهول، خطای مرتبط با آن تخمین را نیز حساب می‌کند. بنابراین می‌توان برای هر مقدار برآورد شده دامنه اطمینان آن تخمین را محاسبه کرد.

معادلات کریجینگ

فرمول کلی تخمین کریجینگ به صورت زیر است:

$$Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i \cdot Z(x_i) \quad (19-3)$$

که در آن:

Z^* : مقدار متغیر مکانی برآورد شده،

$Z(x_i)$: مقدار متغیر مکانی مشاهده شده در نقطه x_i

λ_i : وزن آماری که به نمونه x_i نسبت داده می‌شود و بیانگر اهمیت نقطه x_i در برآورد است. به این نوع کریجینگ، کریجینگ خطی می‌گویند زیرا ترکیب خطی از n داده است. شرط استفاده از این تخمین‌گر آن است که متغیر Z توزیع نرمال داشته باشد. در صورتی که متغیر مورد نظر توزیع نرمال نداشته باشد، باید از کریجینگ غیرخطی استفاده کرد و یا می‌توان ابتدا تبدیلی پیدا کرد که توزیع متغیر مورد نظر را به نرمال تبدیل کند و آنگاه روی داده‌های تبدیل یافته کریجینگ خطی انجام داد. از آنجا

که تخمین‌گر کریجینگ بهترین تخمین‌گر ناریب است، لذا باید عاری از خطای سیستماتیک باشد و واریانس تخمین آن نیز حداقل باشد. برای نیل به شرط عاری از خطا بودن، بایستی میانگین خطای تخمین صفر باشد:

$$E[Z(x_i) - Z^*(x_i)] = 0 \quad (3-20):$$

که در آن:

$Z(x_i)$: مقدار واقعی Z در نقطه x_i ,

$Z^*(x_i)$: مقدار تخمینی Z در همان نقطه x_i و

$E()$: به مفهوم امید ریاضی می‌باشد.

رابطه فوق را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$E[Z(x_i) - \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i)] = 0 \quad (3-21):$$

در نتیجه می‌توان نوشت:

$$E[Z(x_i)] - \sum_{i=1}^n \lambda_i E[Z(x_i)] = 0 \quad (3-22):$$

از طرفی $E[Z(x_i)] = m$ است که m ، میانگین مقدار Z در تمام محیط است که به مختصات بستگی

ندارد. بنابراین رابطه بالا را می‌توان بدین صورت نوشت:

$$m - \sum_{i=1}^n \lambda_i m = 0 \quad (3-23):$$

از آنجا که $m \neq 0$ است، لذا باید رابطه زیر برقرار باشد:

$$\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3-24):$$

بنابراین ناریب بودن کریجینگ در شرایطی برقرار است که مجموع ضرایب کریجینگ معادل واحد

باشد. اما برای برقراری شرط دوم، باید واریانس تخمین را محاسبه و به حداقل رساند.

$$\text{فرمول (3-25): } E[(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2] = E[(Z(x_i))^2] - 2E[Z(x_i).Z^*(x_i)] + E[Z^*(x_i)^2]$$

از طرفی ثابت می‌شود که:

$$E[Z(x_i)^2] = C_0 + m^2 \quad (۳-۲۶):$$

و همچنین:

$$E[Z(x_i).Z^*(x_i)] = \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{0i} + m^2 \quad (۳-۲۷):$$

که در آن:

C_0 : مقدار هم‌تغییرنما در نقطه مورد تخمین (به ازای $h = 0$)

C_{0i} : مقدار هم‌تغییرنما بین نقطه مورد تخمین و نمونه i ام،

C_{ij} : مقدار هم‌تغییرنما بین نمونه i و نمونه j و

λ_i و λ_j : وزن نسبت داده شده به نمونه i و j می‌باشد.

با جای‌گذاری این روابط در رابطه ۲۱ می‌توان نوشت:

$$E[(Z(x_i) - Z^*(x_i))^2] = C_0 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{0i} + \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij} \quad (۳-۲۸):$$

از طرفی:

$$\sigma^2 = C + \gamma \quad (۳-۲۹):$$

در نتیجه:

$$C = \sigma^2 - \gamma \quad (۳-۳۰):$$

از جایگزین کردن مقدار هم‌تغییرنما به جای هم‌تغییرنما و استفاده از σ_E^2 به جای واریانس تخمین،

معادله فوق به صورت زیر درخواهد آمد:

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i0} - \gamma_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma_{ij} \quad (۳-۳۱):$$

که در آن:

γ_{i0} : مقدار هم‌تغییرنما بین نمونه i و نقطه مورد تخمین،

γ_0 : مقدار هم‌تغییرنما در نقطه مورد تخمین ($h=0$) و

γ_{ij} : مقدار هم‌تغییرنما بین نمونه i و j می‌باشد.

بدین ترتیب برای آنکه واریانس تخمین کریجینگ حداقل شود لازم است تابع σ_E^2 بر حسب ضرایب

کریجینگ (λ_i) با رعایت شرط $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ مینیمم شود. بنابراین برقراری شرط دوم منجر به حل

مسأله بهینه‌سازی محدود زیر می‌شود:

$$\begin{cases} \min \sigma_E^2 = C_0 - 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i C_{0i} - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j C_{ij} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (32-3)$$

این مسأله بهینه‌سازی را می‌توان با استفاده از ضرایب لاگرانژ حل کرد. با در نظر گرفتن ضریب

لاگرانژ μ باید n مشتق جزئی زیر برابر صفر باشد:

$$\frac{\partial [\sigma_E^2 - 2\mu(\sum_{i=1}^n \lambda_i - 1)]}{\partial \lambda_i} = 0 \quad n = 1, 2, 3, \dots, n \quad (32-3)$$

این رابطه در حقیقت یک دستگاه معادلات خطی با $n+1$ معادله و $n+1$ مجهول (شامل n مجهول

و یک مجهول ضرایب لاگرانژ μ) می‌باشد. معادلات کریجینگ به صورت زیر درمی‌آید:

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^n (\lambda_j \cdot C_{ij}) - \mu = C_{0i} \\ \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \end{cases} \quad (33-3)$$

اگر در معادله کلی فوق، $x = \lambda_i$ ، $A = C_{ij}$ و $B = C$ فرض شود، این معادله خطی را می‌توان به

صورت حاصلضرب ماتریسی نوشته و دستگاه معادلات را حل کرد. معادلات فوق به صورت زیر بازنویسی

می‌شوند:

$$A.X = B \Rightarrow X = A^{-1}.B \quad (33-3)$$

که در آن:

$$A = \begin{bmatrix} C_{11} & \dots & C_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{n1} & \dots & C_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} C_{01} \\ \vdots \\ C_{0n} \\ 1 \end{bmatrix}, \quad X = \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_n \\ -\mu \end{bmatrix} \quad (34-3)$$

معادلات فوق را می‌توان برحسب نیم‌تغییرنا نوشت. در این صورت روابط به صورت زیر در می‌آیند:

$$A = \begin{bmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \dots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} \gamma_{01} \\ \vdots \\ \gamma_{0n} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (35-3)$$

اگر هر کدام از عبارات دستگاه معادلات خطی (۳۰) را در λ_i ضرب و همه معادلات با هم جمع شوند، رابطه زیر به دست می آید:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\lambda_i \cdot \lambda_j \cdot C_{ij}) - \mu \sum_{i=1}^n \lambda_i = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \cdot C_{0i}) \quad (36-3)$$

از آنجا که $\sum_{i=1}^n \lambda_i = 1$ است، معادله فوق به صورت زیر درمی آید:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (\lambda_i \cdot \lambda_j \cdot C_{ij}) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i + C_{0i}) + \mu \quad (37-3)$$

با جایگزین کردن این رابطه در معادله ۲۵ می توان نوشت:

$$\sigma_E^2 = C_0 - \sum_{i=1}^n (\lambda_i + C_{0i}) + \mu \quad (38-3)$$

با در نظر گرفتن شکل ماتریسی معادلات کریجینگ، می توان واریانس تخمینی را به شکل ماتریسی درآورد:

$$\sigma_E^2 = C_0 - X^t \cdot B \quad (39-3)$$

X^t ترانواده بردار X می باشد.

ویژگی های کریجینگ:

کریجینگ تخمین گری ناریب، با کمترین مقدار واریانس تخمین است. شرط ناریب بودن در سایر روش های تخمین، نظیر روش چندضلعی و عکس فاصله نیز اعمال می شود، ولی ویژگی کریجینگ در آن است که در عین ناریب بودن، واریانس تخمین نیز حداقل است. این نشانگر آن است که از اطلاعات موجود به بهترین نحو استفاده شده است. بنابراین کریجینگ همراه هر تخمین، مقدار خطای آن را نیز می دهد که با استفاده از این ویژگی منحصر به فرد کریجینگ می توان قسمت هایی را که در آنجا خطای تخمین بالاست و برای کاهش آن به داده های بیشتری نیاز است، مشخص کرد و تحت پوشش لازم قرار داد و یا می توان میزان کاهش واریانس تخمین را به ازای یک نمونه اضافه قبل از نمونه گیری تعیین کرد. لذا با استفاده از واریانس تخمین می توان بهترین نقاط نمونه برداری را پیشنهاد کرد.

از ویژگی های دیگر کریجینگ آن است که، تخمین مقدار یک کمیت در نقاط نمونه برداری باید برابر مقدار مشاهده شده آن باشد و واریانس تخمین آن صفر گردد. به این نوع تخمین گر ها، تخمین گر

مطلق گفته می‌شود. در حالی که تخمین‌گرهایی مانند حداقل مربعات و رگرسیون‌ها، تخمین‌گرهای غیرمطلق می‌باشند. ویژگی دیگر کریجینگ آن است که موجب هموار شدن تغییرات می‌شود. یعنی توزیع نمونه‌های تخمین زده شده نسبت به مقادیر واقعی تغییرات کمتری دارد. از ویژگی‌های دیگر کریجینگ، خاصیت جمع‌پذیری آن می‌باشد. این خاصیت باعث می‌شود که اگر در مجموعه‌ای از فضاها، کوچک کریجینگ صورت گیرد، میانگین مقادیر تخمین این فضاها برابر با مقدار تخمینی فضای بزرگتری که حاوی تمام این فضاها، کوچکتر است، باشد. البته در هر دو حالت تخمین فضای کوچکتر و بزرگتر باید از یکسری نقاط یکسان استفاده شده باشد.

۳-۱۰-۲ انواع کریجینگ بر حسب مشخصات ساختار مکانی

الف) کریجینگ معمولی

در این روش که معادلات آن در قسمت مربوط به ارائه معادلات کریجینگ آورده شده است، مقدار میانگین مجهول ولی مستقل از مختصات فرض می‌شود. واریانس تخمین در این حالت همانگونه که قبلاً دیده شد، به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sigma_{0k}^2 = \sum_{i=1}^n (\lambda_i + \gamma_{0i}) + \mu - \gamma_{00} \quad (3-40):$$

در صورتی که مقادیر اندازه‌گیری شده و مقادیر مورد تخمین توسط کریجینگ، به نقطه نسبت داده شوند، کریجینگ را نقطه‌ای می‌نامند. در عمل برداشت نمونه به صورت نقطه‌ای، امکان‌پذیر نیست و حتی نمونه‌های کوچک نیز دارای حجم می‌باشند. ولی اگر ابعاد نمونه در مقابل دامنه تاثیر واریوگرام کوچک باشد، می‌توان آن را با تقریب نقطه‌ای فرض نمود. در این نوع کریجینگ از واریوگرام نقطه‌ای استفاده می‌شود.

ب) لوگ کریجینگ

همانطور که قبلاً ذکر شد، اگر داده‌ها از توزیع نرمال پیروی نکنند، نمی‌توان از روش کریجینگ خطی استفاده کرد، زیرا در این حالت تناسب بین واریانس و میانگین وجود ندارد. در این گونه موارد باید

داده‌ها را با کمک یک روش تبدیل، نرمال کرد. یک روش معمول تبدیل لگاریتمی است. در این روش از لگاریتم داده‌ها استفاده می‌شود. به هر حال، با استفاده از روش کریجینگ معمولی، برآورد صورت می‌گیرد، آنگاه مقادیر تخمینی با یک تبدیل به مقادیر غیرلگاریتمی تبدیل می‌گردند.

ج) کوکریجینگ

در برخی موارد ممکن است از یک متغیر به اندازه کافی نمونه‌برداری نشده باشد و بر اساس آن نتوان تخمین را با دقت مورد نظر انجام داد. در چنین مواردی می‌توان با در نظر گرفتن رابطه مکانی بین این متغیر و متغیر دیگری که از آن به خوبی نمونه‌گیری شده است، تخمین را اصلاح کرد. البته به دلیل مشکلاتی که در مدل‌سازی تغییرنمای متقابل متغیرها وجود دارد، کوکریجینگ به لحاظ کاربردی، اعتبار کافی پیدا نکرده است.

با توجه به موارد ذکر شده در مورد کریجینگ، جهت تست ایستایی و نرمال بودن داده‌ها از نرم افزار Minitab و برای اجرای کریجینگ از نرم‌افزار GS+ استفاده گردید.

نرم‌افزار Minitab

این نرم افزار نخستین بار در پنسیلوانیای آمریکا نوشته شده است که استفاده ساده و کاربرد زیاد و اجرای فرمان‌ها از طریق منوها و نوشتن دستورات در محیط session از خصوصیات آن می‌باشد و در زمینه‌هایی از قبیل آمار توصیفی، رگرسیون، روش‌های چند متغیره پیوسته و گسسته، طرح آزمایش‌ها، سری‌های زمانی، کنترل کیفیت آماری و غیره کاربرد دارد و از همه مهمتر دارای یک ویژگی است که با داشتن یک راهنمای قوی و مناسب، امکان دستیابی به منوها را تسهیل می‌سازد. همچنین می‌توان برای اجرای فرمان‌هایی که در منو موجود نیست، یک ماکروی کوچک نوشت و آن را اجرا کرد.

از آنجا که داده‌ها دارای توزیع غیرنرمال بودند از این نرم‌افزار جهت نرمال‌سازی داده‌ها استفاده گردید. در واقع با به‌کارگیری تابع تبدیل مناسب، مقادیر متغیرها به مقداری متناظر با رابطه تغییر می‌یابد و از توزیع نرمال پیروی می‌کند.

تبدیل لگاریتمی:

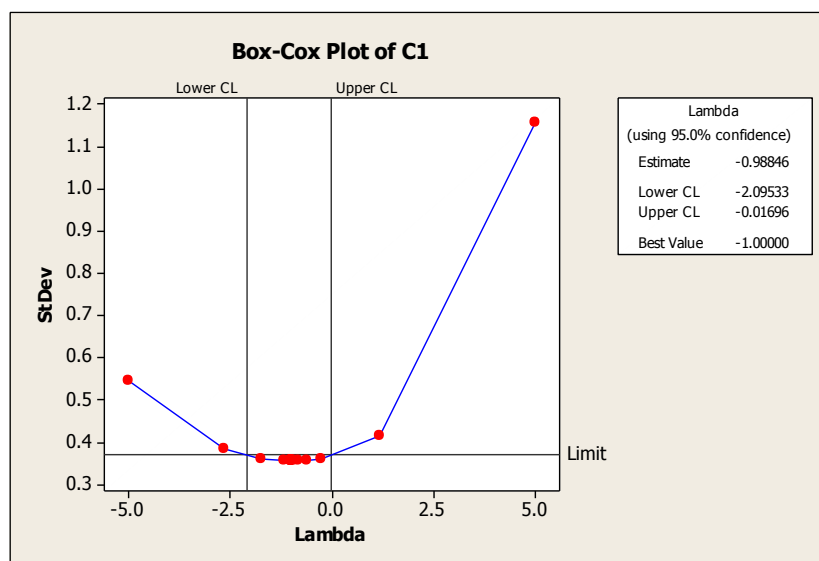
با لگاریتم‌گیری از توزیع موجود، سعی در نرمال نمودن توزیع داده‌ها دارد.

تبدیل رادیکالی:

با تحت رادیکال قراردادن توزیع موجود، سعی در نرمال نمودن توزیع داده‌ها دارد.

کاکس-باکس:

در این روش تبدیل مقدار لاندا در هر مرحله تغییر می‌یابد و در نهایت مقدار لاندا متناظر با کمترین مقدار واریانس، به عنوان بهترین لاندا جهت تبدیل مورد استفاده قرار می‌گیرد. خروجی به صورت نمودار زیر خواهد بود. مقدار بدست آمده برای تبدیل کاکس-باکس از این عدد استفاده می‌شود.



شکل (۷-۳) تغییرات مقدار لاندا با تغییر واریانس

لازم به ذکر است که به صورت کلی به ازای هر مشاهده Z_t تبدیل زیر بعد از بدست آوردن λ

مورد توجه قرار می‌گیرد.

$$T(Z_t) = \frac{Z_t^\lambda - 1}{\lambda}$$

در استفاده از این تبدیل ذکر چند نکته حائز اهمیت است:

اگر مقدار λ ، برابر صفر باشد نیاز به تبدیل نیست،

اگر مقدار λ ، برابر ۱- بدست آید از فرمول فوق استفاده نمی شود بلکه داده ها معکوس می شوند.

تبدیل جانسون:

روش تبدیل جانسون الگوریتم متفاوتی نسبت به روش باکس-کاکس دارد به طوریکه بهترین تابع تبدیل متغیر را از بین سه خانواده از توابع توزیع متغیر موجود در سیستم جانسون انتخاب می کند. که این توزیع ها عبارتند از توزیع کران دار، توزیع بی کران و توزیع لگ نرمال. الگوریتم تبدیل جانسون به این صورت است که ابتدا پارامترهای مورد نیاز توابع تبدیل را تخمین می زند. سپس همه متغیرهای غیر نرمال را با هر سه تبدیل، تغییر می دهد. سپس آزمون فرض اندرسون دارلینگ انجام می گردد. هر کدام از تبدیل ها که بیشترین مقدار P-value را داشته باشد؛ به عنوان بهترین تبدیل استفاده می گردد. در این تحقیق بهترین تبدیل تبدیل بی کران به دست آمد.

SB	$\gamma + \eta \ln [(x - \varepsilon) / (\lambda + \varepsilon - x)]$	$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, \varepsilon < x < \varepsilon + \lambda$
SL	$\gamma + \eta \ln (x - \varepsilon)$	$\eta > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, \varepsilon < x$
SU	$\gamma + \eta \sinh^{-1} [(x - \varepsilon) / \lambda]$	$\eta, \lambda > 0, -\infty < \gamma < \infty, -\infty < \varepsilon < \infty, -\infty < x < \infty$
$\sinh^{-1}(x) = \ln [x + \sqrt{1 + x^2}]$		

شکل (۳-۸)، تبدیل های تحت تبدیل جانسون

نرم افزار GS+

اولین برنامه آنالیز زمین آماری است که در سال ۱۹۸۸ برای کامپیوترهای شخصی ارائه شد. این نرم افزار به سرعت در سراسر جهان به عنوان یک برنامه زمین آماری منتخب کاربران تبدیل شد. این نرم افزار، اولین نرم افزار زمین آماری است که هم خواسته های انعطاف پذیر یک متخصص و هم نیازهای

ساده یک مبتدی را برآورده می‌سازد. این ویژگی شامل تمام اجزای آن، از آنالیز تغییرنما تا کریجینگ و ترسیم نقشه می‌شود.

نسخه ۵,۱,۱ این نرم افزار در قالب شش مرحله اصلی زیر به کار گرفته شده است:

۱- ورود داده‌ها در محیط GS+

۲- استخراج نیم‌تغییرنما و آنالیز نیم‌تغییرنما

۳- درونیابی و انتخاب روش تحلیل مکانی

۴- ارزیابی روش‌ها و پارامترها

۵- شبیه‌سازی تراز آب

۶- ترسیم نقشه

۳-۱۱ تراکم ایستگاه‌ها

شبکه حداقل، شبکه‌ای است که از کاستی‌های بزرگ در توسعه و مدیریت منابع آب متناسب با میزان توسعه‌یافتگی اقتصادی و نیازهای زیست‌محیطی ناحیه پیشگیری کند. چنین شبکه‌ای می‌باید در اولین گام و سرعت و با استفاده حداکثر از ایستگاه‌های موجود راه‌اندازی شود. به عبارت دیگر چنین شبکه‌ای چهارچوب اصلی برای توسعه و برآورد نیازهای اطلاعاتی منابع آب را تشکیل می‌دهد. در این بند تراکم حداقل انواع ایستگاه‌ها برای نواحی مختلف جغرافیایی و اقلیمی توصیه شده‌است. نواحی را می‌توان بر مبنای تغییرات فصلی و مکانی بارش دسته‌بندی کرد. در هر منطقه می‌باید نقشه مناسبی از بارش سالیانه تهیه شود و شبکه حداقل بر این مبنای توسعه یابد. تراکم جمعیت نیز بر طراحی شبکه موثر است. نمی‌توان در نقاطی که تراکم جمعیت کم است شبکه ایستگاه‌ها را صرفاً براساس سایر عوامل و پارامترهای فیزیکی تأسیس نمود، خصوصاً اگر جمعیت ساکن و ثابت نباشند. چرا که پیدا کردن متصدی در مناطق کم جمعیت و با دسترسی ضعیف دشوار است و در عین حال دقت و صحت اندازه‌گیری و دیده‌بانی حائز اهمیت فراوان و از اولویت بسیار بالایی برخوردار است. از سوی دیگر مناطق شهری پرتراکم نیاز به شبکه

متراکم دارند. چرا که نیاز به داشتن اطلاعات دقیق از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هیدروکلیماتولوژی جهت طراحی مدیریت و کنترل بهنگام شبکه‌های زهکشی رواناب شهری و نیز سایر کاربردهای مهندسی وجود دارد (کارآموز و کراچیان ، ۱۳۸۲).

۳-۱۱-۱ تعیین محل چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان‌ها

تعیین محل چاه‌های مشاهده‌ای در آبخوان‌ها باید به گونه‌ای انجام شود که ضوابط طراحی شبکه اندازه‌گیری سطح آب زیرزمینی بر آن حاکم باشد و این موضوع زمانی کارآمد و مناسب است که بتواند علاوه بر نشان دادن سطح آب واقعی فعلی آبخوان، تاثیر تغییرات آتی عوامل اقلیمی و طبیعی و حتی تنش‌های مصنوعی را در هر بخش آبخوان به صورت نوسانات سطح آب نشان دهد (وزارت نیرو، ۱۳۹۰). بدین لحاظ در تعیین محل‌های مناسب حفر چاه‌های مشاهده‌ای باید تا حد امکان از مشخصات آبخوان یا آبخوان‌های موجود اطلاع داشت البته برخی از مشخصات آبخوان‌ها را می‌توان از اطلاعات منابع آب موجود در آنها به ویژه چاه‌های بهره‌برداری در صورت وجود، اخذ نمود و برخی دیگر از اطلاعات از طریق حفر چاه‌های اکتشافی (شامل ضرایب هیدرودینامیکی، ضخامت سفره، عمق سنگ کف، عمق سطح آب زیرزمینی، تعداد آبخوان‌ها و...) و یا بررسی‌های ژئوفیزیکی به دست خواهد آمد و بالاخره تعداد دیگری از مشخصات آبخوان از طریق نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و تجارب کارشناسی دست یافتنی است (وزارت نیرو نشریه ۲۶۰).

مجموعه این اطلاعات، ما را به سمتی هدایت خواهد کرد که از تعیین محل این چاه‌ها در دامنه‌های مرتفع، دره‌ها، حدفاصل تپه‌ها، در مسیر جریان‌های زیرزمینی و نواحی که مجزا از آبخوان می‌باشند، پرهیز نماییم. چاه‌های مشاهده‌ای باید به گونه‌ای تعیین محل شوند که تراکم قابل قبولی در سطح آبخوان داشته باشند، تراکم یا تعداد چاه‌های مشاهده‌ای و پیرومتر در یک واحد سطح آبخوان بر حسب اهداف از پیش تعیین شده مطالعات می‌تواند متفاوت باشد. به طور کلی تراکم یا تعداد این چاه‌ها در دو شکل تراکم زیاد و تراکم قابل قبول می‌تواند مطرح باشد.

۳-۱۱-۲ تراکم زیاد

در این نوع تراکم برای هر ۱۰ کیلومتر مربع یک حلقه چاه مشاهده‌ای و یا پیزومتر (هر ۱۰۰ کیلومتر مربع ۱۰ حلقه) در نظر گرفته می‌شود. از این نوع تراکم در مواردی از قبیل بررسی مناطق تغذیه و یا مناطق با بهره‌برداری شدید و یا تخلیه زیاد آبخوان، بررسی اثرات طرح‌های تغذیه مصنوعی بر آبخوان، مطالعات تامین آب شرب شهرهای بزرگ، مطالعات و بررسی عوامل تاثیرگذار و از جمله رودخانه‌های دائمی، زهکش‌های طبیعی و مصنوعی، دریاچه‌ها و دریاها و کانال‌های آبرسانی سنتی و همچنین نحوه‌ی عملکرد پرده تزریق سدها بر سطح آب آبخوان استفاده می‌شود.

۳-۱۱-۳ تراکم قابل قبول

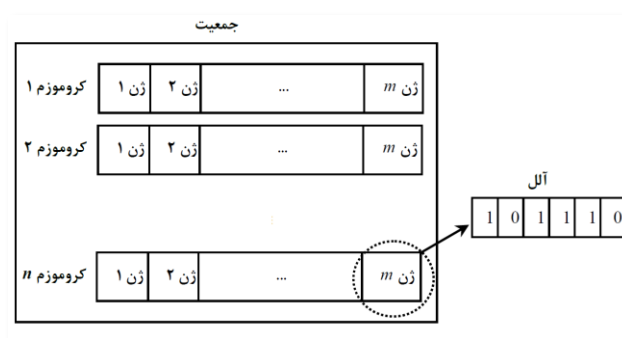
در این تراکم که حاصل مطالعات آب‌های زیرزمینی در ایران می‌باشد برای هر ۲۵ کیلومتر مربع وسعت آبخوان یک حلقه چاه مشاهده‌ای و یا پیزومتر (۴ حلقه در ۱۰۰ کیلومتر مربع) تعیین محل می‌شود، به عبارتی فاصله هر یک از این چاه‌ها با یکدیگر به طور میانگین ۵ کیلومتر در نظر گرفته می‌شود. از این نوع تراکم در حالت عادی آبخوان که جریان آب زیرزمینی متأثر از عوامل تغذیه و تخلیه طبیعی بوده استفاده می‌شود (وزارت نیرو نشریه ۵۷۷).

۳-۱۱-۴ شبکه‌بندی

با توجه به موارد ذکر شده؛ متراکم‌ترین حالت شبکه توصیه شده، یک چاه در هر ۱۰ کیلومترمربع تعیین شده است؛ که در صورت شبکه بندی، هر چاه داخل یک مربع به ضلع $3/16$ قرار می‌گیرد. در این تحقیق جهت دستیابی به نتایج با اطمینان بالا و دقت در محاسبات شبکه‌بندی به صورت مربع به ضلع ۲ کیلومتر در نظر گرفته شده است.

۱۲-۳ الگوریتم ژنتیک

برای مسائلی که بیش از یک متغیر تصمیم دارند، ژن‌های مختلف که متناظر با این متغیرها هستند در قالب یک رشته که کروموزوم نامیده می‌شود، مشابه آنچه که در شکل (۳-۹) نشان داده شده، نمایش داده می‌شوند. بنابراین هر کروموزوم، نشان‌دهنده ترکیب مقادیر انتخاب شده برای متغیرهای مختلف تصمیم مسئله است. از آنجا که هر متغیر تصمیم می‌تواند تعداد متناهی و یا حتی نامتناهی مقدار مجاز اختیار کند، کروموزوم‌های مختلفی می‌تواند از ترکیب مقادیر مختلف متغیرهای تصمیم ایجاد شوند. کروموزوم‌هایی که بدین نحو تشکیل می‌شوند، یک جمعیت را ایجاد می‌کنند.



شکل (۳-۹) ساختار کروموزوم

برای ارزیابی کروموزوم‌ها (جمعیت)، از تابع برازش (تابع هدف) مسئله استفاده می‌شود. برای این منظور مقادیر انتخاب شده برای متغیرهای تصمیم مسئله در ژن‌های هر کروموزوم، در تابع برازش قرار داده شده و مقدار این تابع که متناظر با کروموزوم انتخاب شده است، محاسبه می‌شود. مقدار عددی برازش محاسبه شده، معیار مقایسه و انتخاب کروموزوم‌های برتر است. در فرآیند تکامل در الگوریتم ژنتیک، کروموزوم‌های برتر انتخاب شده، نقش والدینی را ایفا می‌کنند که با اعمال عملگر تزیوج بر آنها، کروموزوم‌های جدیدی با ترکیبی از خواص دو کروموزوم والد تولید می‌شوند. عملگر دیگری که در فرآیند تکامل در الگوریتم ژنتیک نقش آفرینی می‌کند، عملگر جهش است که به طور تصادفی مقادیر یک یا چند ژن در یک کروموزوم را تغییر می‌دهد. دو فرآیند دسته‌بندی متغیرهای تصمیم مسئله در قالب

کروموزوم‌ها و کمی کردن ارزش آنها با استفاده از تابع برازش، در واقع دو ابزار اصلی هستند که ارتباط الگوریتم ژنتیک را با یک مسئله واقعی برقرار می‌کنند.

۳-۱۳ ساختار الگوریتم‌های ژنتیکی

به طور کلی، الگوریتم‌های ژنتیکی از اجزاء زیر تشکیل می‌شوند:

(۱) کروموزوم

(۲) جمعیت

(۳) تابع برازندگی (تابع هدف)

به منظور حل هر مسئله با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیکی، ابتدا باید یک تابع برازندگی برای آن مسئله ابداع شود. برای هر کروموزوم، این تابع، عددی غیر منفی را برمی‌گرداند که نشان دهنده شایستگی یا توانایی فردی آن کروموزوم است.

واژه برازش، مقدار عددی تابع هدف را برای هر ترکیب از مقادیر متغیرهای تصمیم در روش الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. زمانی که صحبت از برازش و یا هزینه به میان می‌آید، به ترتیب مسئله حداکثرسازی و حداقل‌سازی را در ذهن تداعی می‌نمایند. در بهینه‌سازی این دو مسئله با یکدیگر به صورت زیر معادل می‌شوند:

$$(۳-۴۰): \{\text{تابع هدف مسئله حداکثرسازی}\} = - \{\text{تابع هدف مسئله حداقل‌سازی}\}$$

حل مسئله بهینه‌سازی با استفاده از الگوریتم ژنتیک با مشخص نمودن مجموعه‌ای از کروموزوم‌ها که هر کدام زنجیره‌ای از ژن‌های بهم پیوسته هستند و هر ژن نمایشگر یک متغیر تصمیم‌گیری از مسئله است، شروع می‌شود. فرض کنید مسئله‌ای دارای N متغیر به صورت $p_1, p_2, p_3, \dots, p_N$ باشد، در این صورت هر کروموزوم به صورت یک بردار سطری به شکل زیر نوشته می‌شود:

$$\text{کروموزوم} = [p_1, p_2, p_3, \dots, p_N]$$

هر کروموزوم دارای یک مقدار برازش است که با محاسبه مقدار تابع f (تابع برازش) در نقاط $p_1, p_2, p_3, \dots, p_N$ مشخص می‌شود.

۳-۱۳-۱ روند کلی الگوریتم‌های ژنتیکی

قبل از این که یک الگوریتم ژنتیکی بتواند اجرا شود، ابتدا باید کدگذاری (یا نمایش) مناسبی برای مسئله مورد نظر پیدا شود. معمولی‌ترین شیوه نمایش کروموزوم‌ها در الگوریتم ژنتیک به شکل رشته‌های دودویی است. هر متغیر تصمیم‌گیری به صورت دودویی درآمد و سپس با کنار هم قرارگرفتن این متغیرها کروموزوم ایجاد می‌شود. گرچه این روش گسترده‌ترین شیوه کدگذاری است اما شیوه‌های دیگری مثل نمایش با اعداد حقیقی در حال گسترش هستند. همچنین یک تابع برازندگی نیز باید ابداع شود تا به هر راه‌حل کدگذاری شده ارزشی را نسبت دهد. در طی اجرا، والدین برای تولید مثل انتخاب می‌شوند و با استفاده از عملگرهای آمیزش و جهش با هم ترکیب می‌شوند تا فرزندان جدیدی تولید کنند. این فرآیند چندین بار تکرار می‌شود تا نسل بعدی جمعیت تولید شود. سپس این جمعیت بررسی می‌شود و در صورتی که ضوابط همگرایی برآورده شوند، فرآیند فوق خاتمه می‌یابد.

۳-۱۳-۲ روند کلی بهینه‌سازی و حل مسائل در الگوریتم ژنتیک:

شروع (Start): تولید تصادفی یک جمعیت (Population) که شامل تعداد زیادی کروموزوم (روش‌های حل مسئله است) می‌باشد.

صحت و درستی (Fitness): ارزیابی صحت برای تابع $f(x)$ به ازای هر کروموزوم x در جمعیت.

ایجاد یک جمعیت جدید (New Population): تولید یک جمعیت جدید با انجام تمامی زیر

گروه‌های زیر تا آنکه یک جمعیت جدید ایجاد گردد.

انتخاب (Selection): انتخاب کروموزوم‌های پدر و مادر از جمعیت قبلی با توجه به صحت و درستی آن (Fitness)، بطوری که هر چه Fitness بهتر باشد (دقت جواب در همگرایی بیشتر باشد) شانس بیشتری برای انتخاب دارد.

تولید مثل (Crossover): انجام زاد و ولد و ایجاد یک نسل جدید.

جهش (Mutation): مشخص شدن مکان فرزند تولید شده در کروموزوم.

پذیرش (Accepting): جا دادن فرزند جدید در داخل جمعیت.

جایگزینی (Replace): جایگزینی جمعیت جدید به جای جمعیت قبلی و مورد استفاده قراردادن جمعیت جدید در مراحل بعدی الگوریتم.

امتحان (Test): اگر شرایط مطلوب در حل مسئله ارضا شد، اعلام می‌کنیم که به بهترین جواب رسیده‌ایم و از الگوریتم خارج می‌شویم در غیر این صورت به مرحله Fitness می‌رویم و دوباره همین روند را تکرار می‌کنیم.

۳-۱۴ عملگرهای الگوریتم ژنتیک

در الگوریتم‌های ژنتیکی، در طی مرحله تولید مثل از عملگرهای ژنتیکی استفاده می‌شود. با تاثیر این عملگرها روی یک جمعیت، نسل بعدی آن جمعیت تولید می‌شود. عملگرهای انتخاب، آمیزش و جهش معمولاً بیشترین کاربرد را در الگوریتم‌های ژنتیکی دارند.

۳-۱۴-۱ عملگر انتخاب (Selection)

این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، تعدادی کروموزوم را برای تولید مثل انتخاب می‌کند. کروموزوم‌های برآورده‌تر شانس بیشتری دارند تا برای تولید مثل انتخاب شوند.

روش های انتخاب

انتخاب نخبگان (Elitist Selection)

مناسب‌ترین عضو هر اجتماع با توجه به مقدار شایستگی که از تابع هدف دریافت کرده است، انتخاب می‌شود.

عملگر تقاطع (Crossover)

در جریان عمل تقاطع به صورت اتفاقی بخش‌هایی از کروموزوم‌ها با یکدیگر تعویض می‌شوند. این موضوع باعث می‌شود که فرزندان ترکیبی از خصوصیات والدین خود را به همراه داشته باشند و دقیقاً مشابه یکی از والدین نباشند. هدف، تولید فرزند جدید می‌باشد به این امید که خصوصیات خوب دو موجود در فرزندشان جمع شده و موجود بهتری را تولید کند.

روش کار به صورت زیر است:

(۱) بصورت تصادفی یک نقطه از کروموزوم انتخاب می‌شود.

(۲) ژن‌های مابعد آن نقطه از کروموزوم‌ها جابجا می‌شود.

تقاطع تک نقطه‌ای (Single Point Crossover)

اگر عملیات تقاطع در یک نقطه انجام شود به آن تقاطع تک نقطه‌ای می‌گویند.

تقاطع بدین صورت انجام می‌گیرد که حاصل ترکیب کروموزوم‌های پدر و مادر می‌باشد. روش تولید مثل نیز بدین صورت است که ابتدا بصورت تصادفی، نقطه‌ای که قرار است تولید مثل از آنجا آغاز گردد، انتخاب می‌گردد. سپس اعداد بعد از آن به ترتیب از بیت‌های کروموزوم‌های پدر و مادر قرار می‌گیرد که در شکل (۳-۱۰) نیز نشان داده شده است.

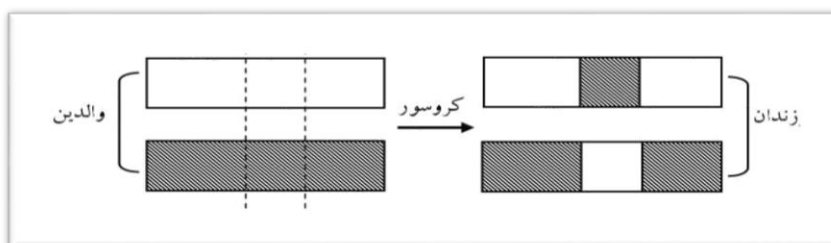
Chromosome 1	11011 00100110110
Chromosome 2	11011 11000011110
Offspring 1	11011 11000011110
Offspring 2	11011 00100110110

شکل (۱۰-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع تک نقطه‌ای

در شکل بالا کروموزوم‌های ۱ و ۲ در نقش والدین هستند و حاصل تولید مثل آن‌ها در رشته‌هایی به نام Offspring ذخیره شده است. دقت شود که علامت "|" مربوط به نقطه شروع تولید مثل می‌باشد و در رشته‌های Offspring اعدادی که بعد از نقطه شروع تولید مثل قرار می‌گیرند مربوط به کروموزوم‌های مربوط به خود می‌باشند. بطوری‌که اعداد بعد از نقطه شروع مربوط به Offspring1، مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع مربوط به کروموزوم ۲ و اعداد بعد از نقطه شروع تولید مثل مربوط به Offspring2، مربوط به اعداد بعد از نقطه شروع تولید مثل مربوط به کروموزوم ۱ می‌باشند.

روش تقاطع دو نقطه‌ای (Two-point CrossOver)

در این روش، مطابق شکل (۱۱-۳) دو نقطه به صورت تصادفی انتخاب شده و مقادیر بین این دو نقطه جابجا می‌شود.



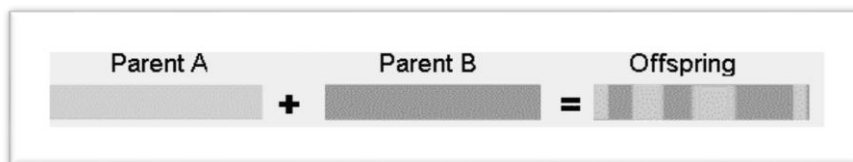
شکل (۱۱-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع دو نقطه‌ای

تقاطع چند نقطه‌ای (Multipoint Crossover)

عملیات تقاطع را می‌توان در چند نقطه انجام داد، که به آن تقاطع چند نقطه‌ای می‌گویند.

تقاطع جامع (Uniform Crossover)

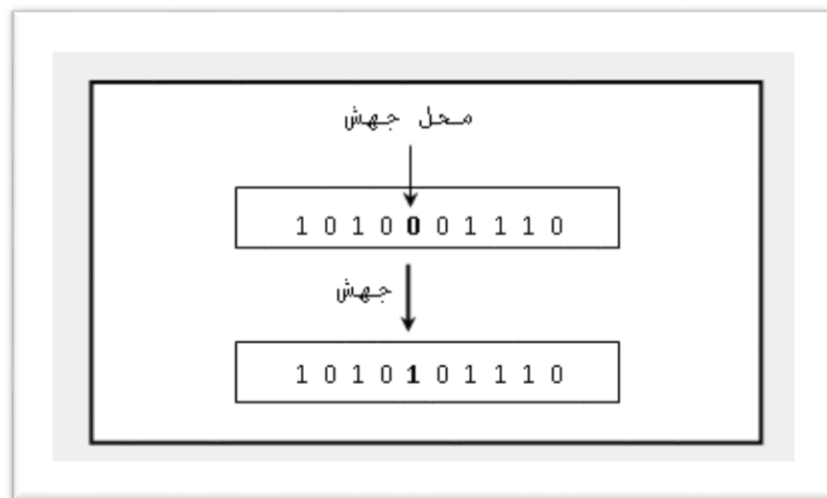
مطابق شکل (۱۲-۳) اگر تمام نقاط کروموزوم به عنوان نقاط بازترکیبی انتخاب شود به آن تقاطع جامع می‌گوییم.



شکل (۱۲-۳) نمونه‌ای از عملیات تقاطع چند نقطه‌ای

عملگر جهش (Mutation)

پس از اتمام عمل تقاطع، عملگر جهش روی کروموزوم‌ها اثر داده می‌شود. این عملگر یک ژن از یک کروموزوم را به طور تصادفی انتخاب نموده و سپس محتوای آن ژن را تغییر می‌دهد. اگر ژن از جنس اعداد دودویی باشد، آن را به وارونش تبدیل می‌کند و چنانچه متعلق به یک مجموعه باشد، مقدار یا عنصر دیگری از آن مجموعه را به جای آن ژن قرار می‌دهد. در شکل (۱۳-۳) چگونگی جهش یافتن پنجمین ژن یک کروموزوم نشان داده شده است.



شکل (۳-۱۳) نمونه‌ای از عملیات جهش

پس از اتمام عمل جهش، کروموزوم‌های تولید شده به عنوان نسل جدید شناخته شده و برای دور بعد اجرای الگوریتم ارسال می‌شوند.

۲-۱۴-۳ بهینه‌سازی چندهدفه

بیشتر مسائل بهینه‌سازی مهندسی در جهان واقعی دارای چند هدف هستند که معمولاً با یکدیگر در تضاد هستند. یافتن "یک پاسخ بهینه"، در این موارد معمولاً امکان‌پذیر نیست. در این مسائل، سعی بر یافتن مجموعه‌ای از جواب‌ها است که توازن نسبی بین اهداف مختلف برقرار کند. به این پاسخ‌ها، جواب‌های متعادل یا متوازن کننده گفته می‌شود که تصمیم‌گیرنده می‌تواند برحسب شرایط مسئله، یکی از آن‌ها را برگزیند.

۳-۱۴-۳ شرط پایان الگوریتم

به دلیل آن که الگوریتم‌های ژنتیک بر پایه تولید و تست می‌باشند، جواب مساله مشخص نیست و نمی‌دانیم که کدامیک از جواب‌های تولید شده جواب بهینه است تا شرط خاتمه را، پیدا شدن جواب در جمعیت تعریف کنیم؛ به همین دلیل، معیارهای دیگری را برای شرط خاتمه در نظر می‌گیریم:

(۱) تعداد مشخصی نسل: می‌توانیم شرط خاتمه را مثلاً ۱۰۰ دور چرخش حلقه اصلی برنامه قرار

دهیم.

(۲) عدم بهبود در بهترین شایستگی جمعیت در طی چند نسل متوالی.

(۳) بهترین شایستگی جمعیت تا یک زمان خاصی تغییری نکند.

(۴) شرایط دیگری نیز می‌توانیم تعریف کنیم و همچنین می‌توانیم ترکیبی از موارد فوق را به عنوان

شرط خاتمه به کار ببندیم.

۳-۱۴-۴ بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک شامل عملگرها و اجزایی مانند تزویج، جهش، تعداد جمعیت و تعداد نسل می‌باشد که برای هر یک از اجزا مقداری در نظر گرفته می‌شود. به این ترتیب که برای جهش و تزویج یک نرخ ثابت و برای تعداد جمعیت و تعداد نسل نیز مقداری در نظر گرفته می‌شود و این مقدار در ابتدا مقداری بهینه نمی‌باشد و نیاز است بهینه گردد.

در تحقیق پیش‌رو با تغییر هریک از این مقادیر و بررسی تاثیرگذاری بر مقدار تابع هدف برای تعداد صد نسل، به مقدار بهینه برای هر یک از این مقادیر رسیدیم. به نحوی که بهترین مقدار برای هریک از عملگرها، مقدار متناظر با بهترین جواب به دست آمده از تابع هدف می‌باشد.

۱۵-۳ خلاصه فصل

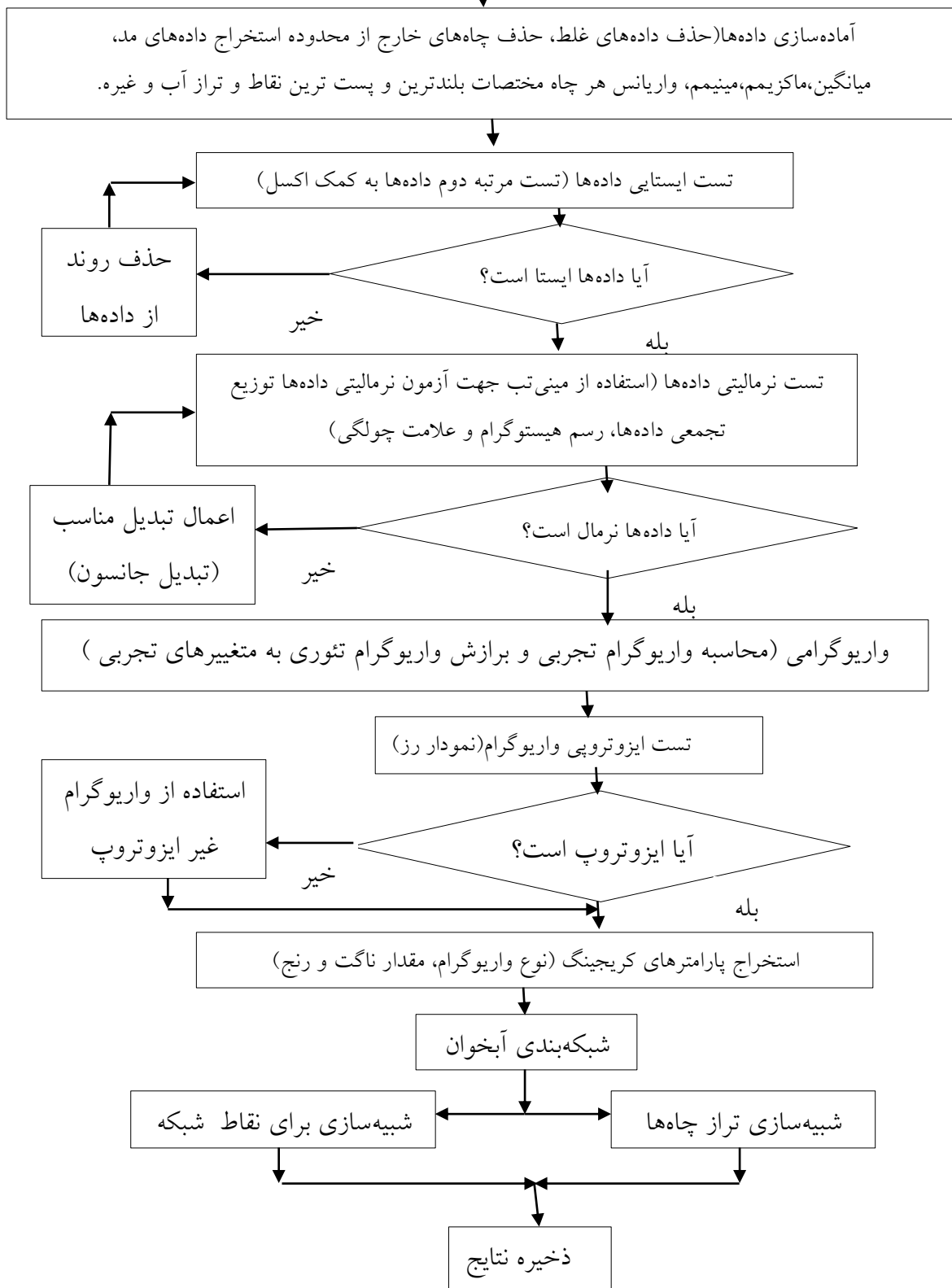
با توجه به اطلاعات مقدماتی ذکر شده از ابتدای فصل تا کنون، و برای وضوح ارتباط این مقدمات با یکدیگر، شکل (۳-۱۴) و شکل (۳-۱۵) رسم شده است که در آنها به صورت مختصر به کارکرد مدل کریجینگ به تنهایی در ابتدای تحقیق، و بکارگیری ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کریجینگ پرداخته شده است.

برای کسب اطمینان از صحت انجام پروژه لازم است تا داده‌های قابل اطمینان مورد استفاده واقع گردد و به این منظور داده‌های خارج از نقشه و داده‌های آماری مربوط به چاه‌های منسوخ شده حذف شده است. لازم به ذکر است که یکی از شروط روش کریجینگ نرمال و ایستا بودن داده‌ها می‌باشد. در ابتدا به کمک نرم‌افزارهای آماری به بررسی ایستایی و نرمال بودن داده‌ها پرداخته شد. در صورت ایستا نبودن داده‌ها، باید عملیات حذف روند از داده‌ها انجام گیرد. داده‌ها ممکن است دارای ایستایی مرتبه اول یا ایستایی مرتبه دوم باشند که در هر صورت باید حذف روند شوند و داده‌های استخراجی از این مرحله، وارد مرحله تست نرمال بودن می‌گردند. در صورت نرمال بودن، داده‌ها به مرحله بعدی سوق داده می‌شوند و در غیر این صورت انواع روش‌ها و تبدیلات جهت نرمال نمودن روی داده‌ها انجام می‌شود. داده‌ها پس از گذراندن این مراحل، مجاز به استفاده از روش کریجینگ می‌باشند. طبق توضیحات آورده شده از ابتدای فصل، کریجینگ قادر است با داشتن تراز آب یک سری نقاط محدود، تراز آب تمام نقاط داخل محدوده مورد نظر را پیش‌بینی کند و همچنین تراز آب نقاط موجود را نیز شبیه‌سازی نماید. علاوه بر این، ویژگی برتری دهنده کریجینگ بر سایر روش‌ها، محاسبه واریانس تخمین می‌باشد. کریجینگ به کمک این پارامتر، قادر است برای تمامی نقاط، مقدار خطای تخمین را محاسبه کند؛ بنابراین بهترین نوع داده‌ها، داده‌هایی است؛ که حین استفاده از آن، خطای تخمین به صفر میل کند. همانطور که در توضیحات فصل آمده، کریجینگ قادر است در راستای مورد نظر کابر، به پیش‌بینی تراز آب بپردازد و به این منظور در هر راستا یک واریوگرام تجربی به دست می‌آورد؛ به این صورت که آستانه، دامنه و اثر قطعه‌ای انواع واریوگرام به گونه‌ای انتخاب می‌شود که بهترین برازش از اعداد واقعی

باشد. در صورتی که واریوگرام انتخابی در تمام جهات شبیه باشند، منطقه دارای واریوگرام واحد همسانگرد است. همسانگردی یا ناهمسانگردی واریوگرام یک محدوده از روی نمودار رز قابل تشخیص است؛ به این طریق که در صورت همسانگردی، نمودار رز دارای تقارن تقریبی نسبت به مرکز می‌باشد. از آنجا که برای شبیه‌سازی باید از واریوگرام تجربی نقاط مشاهداتی بهره گرفت؛ یکی از مهم‌ترین خروجی‌ها، نوع و پارامترهای واریوگرام تجربی بهینه در هر راستا است. همچنین کل محدوده مطالعاتی به قطعات مساوی تقسیم گردیده و مقدار تراز آب برای هر قطعه شبیه‌سازی گردیده است؛ که این نتایج جزء ورودی‌های الگوریتم ژنیک می‌باشند. در واقع مقادیر شبیه‌سازی شده در این مرحله فضای تصمیم برای انتخاب تعداد و محل چاه‌های بهینه می‌باشد.

تابع هدف در مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک-کریجینگ، مینیمم سازی خطای تخمین مجموع تمام نقاط داخل محدوده می‌باشد. جهت اختصار، چارت روند کلی الگوریتم و کریجینگ، در شکل (۳-۱۴) و شکل (۳-۱۵) رسم شده است.

جمع‌آوری داده (داده‌های شامل مختصات جغرافیایی چاه‌ها، تراز سطح آب ۱۶۴ چاه مشاهداتی طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۲ به همراه نقشه توپوگرافی منطقه، مرز آبخوان و دشت و نقشه رودخانه‌های موجود).



شکل (۳-۱۴) روند کلی استفاده از کریجینگ

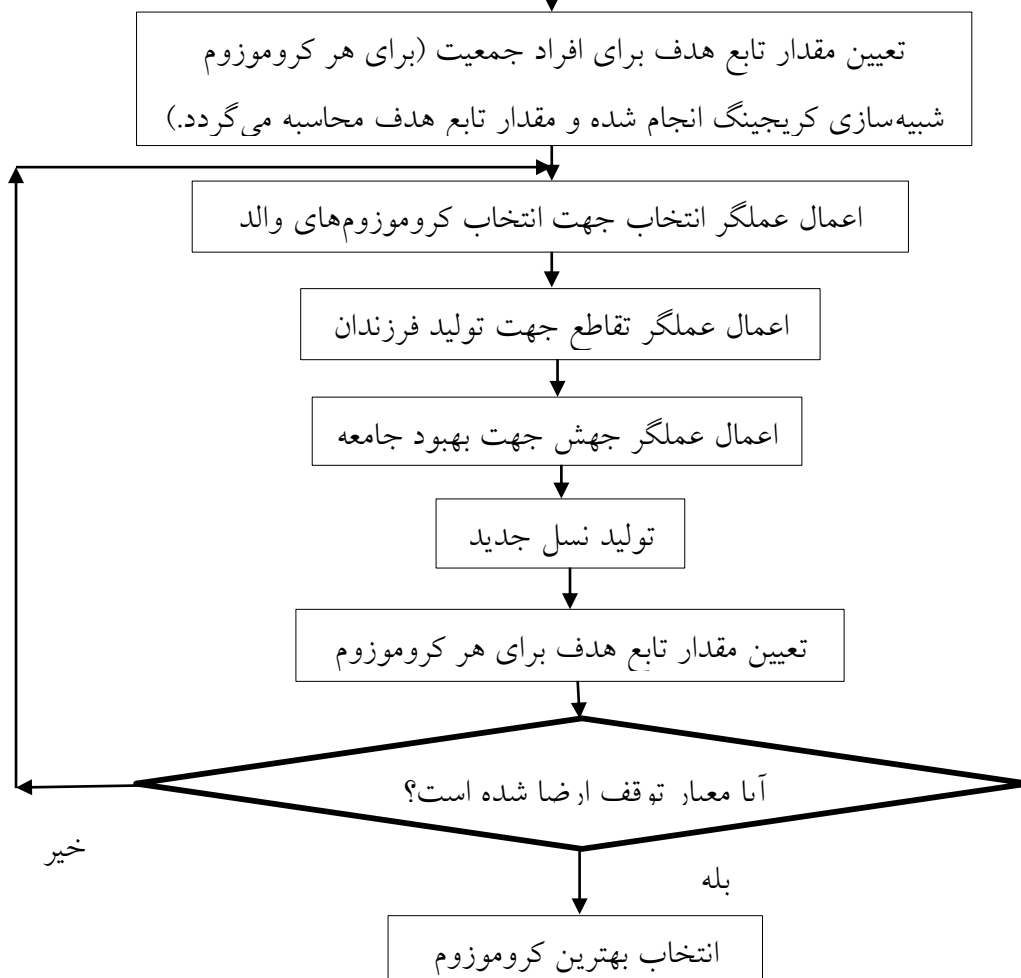
تعریف تابع هدف و محدودیت‌ها، اطلاعات ورودی و پارامترهای مدل کریجینگ (تابع هدف از نوع

مینیمم سازی مجموع خطای واریانس است. متغیر شامل مختصات ۱۶۴ نقطه از منطقه مورد مطالعه است. تعیین معیار توقف: حداکثر تعداد تکرار: ۲۰ تکرار و با شرط توقف: ثابت ماندن تابع هدف. تعیین پارامترهای الگوریتم شامل اندازه جمعیت، تعیین نرخ تقاطع، تعیین نرخ جهش، درصدی از جمعیت اولیه که باید نگه داشته شود. ورودی‌های مربوط به کریجینگ: تعیین نوع واریوگرام و پارامترهای آن از جمله رنج و ناگت، نحوه شبکه بندی نقاط مد نظر برای اعمال تابع هدف و داده‌های مربوط به ۱۳۳۰ نقطه در منطقه مورد مطالعه، به عنوان فضای تصمیم که از نتایج خروجی مرحله قبل می‌باشد).

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i0} - \gamma_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma_{ij}$$

تابع هدف از نوع مینیمم سازی

انتخاب جمعیت (متغیر تعداد ۱۶۴ نقطه انتخابی به عنوان چاه از بین ۱۳۳۰ نقطه شبیه سازی شده است)



شکل (۳-۱۵) روند کلی مدل ترکیبی ژنتیک-کریجینگ

فصل چهارم

منطقه مورد مطالعه

۱-۴ مقدمه

اطلاعات مربوط به تعداد ۱۶۴ چاه مشاهده‌ای در آبخوان تهران_کرج مورد استفاده قرار گرفته است. اطلاعات سطح آب مربوط به فاصله سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۲ از شرکت سهامی آب منطقه‌ای تهران اخذ گردیده است. لایه‌های اطلاعاتی پایه مورد نیاز این تحقیق شامل نقشه‌های زمین‌شناسی، توپوگرافی و هیدروژئولوژی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc GIS) تهیه گردیده است. برای تعیین بهترین مدل تخمین‌گر از تراز آب زیرزمینی، مقادیر پارامترهای تغییرنا محاسبه گردیده‌اند. برازش مدل‌های مختلف تغییرنا (variogram) به داده‌های تراز در منطقه مورد مطالعه، براساس یکسری پارامترهای آماری که برای تعیین دقت تغییرنا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در این حالت مدل‌های مختلف تغییرنا با هم مقایسه و بهترین مدل برازش داده شده تعیین می‌شود. تغییرنا مدل انتخاب شده در حالتی بهترین انتخاب است؛ که داده‌های تجربی را با کمترین خطای مربعات ریشه (RMSE) نشان دهد. جدول (۱-۴) حاوی داده‌های آماری طی سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۲ می‌باشد. آمار برداری از چاه‌ها به صورت ماهانه انجام گرفته است.

جدول (۴-۱) داده‌های آماری چاه‌های مشاهداتی سال‌های ۱۳۷۵_۱۳۹۲

سال	مد	میانه	میانگین	مینیمم	ماکزیمم	واریانس	انحراف معیار
1375	998.35	979.545	970.745	927.3	998.55	685.4369	26.18085
1376	998.05	978.67	970.2968	927.2	998.6	684.3389	26.15987
1377	998.15	978.07	969.9355	927.25	998.25	667.3092	25.83233
1378	997.85	976.735	969.6192	927.08	998.15	655.9677	25.61187
1379	997.85	975.605	968.9736	926.9	998.15	648.4106	25.46391
1380	927.3	974.985	968.547	926.7	998.05	646.7859	25.43199
1381	997.55	1062.57	1068.876	887.66	1358.44	8419.377	91.75716
1382	1046.7	1068.05	1082.137	886.96	1360.47	8500.731	92.19941
1383	1011.81	1067.65	1081.163	886.86	1360.94	8520.902	92.30873
1384	971.7	1069.22	1084.385	886.88	1362.19	8771.756	93.65765
1385	1031.84	1073.71	1091.096	886.35	1362.04	8281.015	91.00008
1386	1031.84	1069.455	1082.07	847.47	1362.34	8929.131	94.49408
1387	1079.1	1066.37	1074.284	845.27	1363.69	9058.677	95.17708
1388	1076.13	1062.825	1068.637	844.34	1323.2	9534.712	97.64585
1389	1116.65	1068.98	1071.899	844.34	1323.9	10262.51	101.304
1390	1241.95	1067.345	1068.363	844.23	1324.42	9769.017	98.83834
1391	1070.86	1063.45	1067.98	845.67	1321.69	8743.143	93.50478
1392	1140.02	1057.29	1060.163	845.79	1320.58	7968.799	89.26813

۲-۴ منطقه مورد مطالعه

منطقه تهران-کرج از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از غرب به استان قزوین و از شرق به استان سمنان محدود است. این منطقه با وسعتی معادل ۱۹۱۹۴ کیلومتر مربع بین ۳۴ تا ۳۶/۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی از استان‌های بسیار مهم کشور محسوب می‌شود. استان تهران از شمال توسط رشته کوه‌های البرز از همسایه شمالی خود یعنی مازندران جدا می‌شود. این ارتفاعات از سمت غرب به شرق افزایش می‌یابد و در قله دماوند به حداکثر ارتفاع خود می‌رسد. در قسمت شرقی کوه‌های سوادکوه و فیروزکوه قرار دارند که از شرق به ارتفاعات شهمیرزاد می‌پیوندند. از دیگر ارتفاعات استان می‌توان به کوه‌های حسن‌آباد و نمک در جنوب بی‌بی شهربانو و اقاغدر در جنوب شرقی و ارتفاعات قصر فیروزه در شرق اشاره کرد.

۴-۲-۱ مناطق طبیعی

تهران را می‌توان به سه منطقه طبیعی تقسیم کرد:

- کوهستان‌های شمالی تهران؛ که بلندترین قله این کوهستان، توچال با ۳۹۳۳ متر است که بر تمام فضای شهر مشرف است.
 - دومین منطقه، دامنه‌های البرز است؛ که به تپه ماهورها و دره‌های اوین، درکه، نیاوران، حصارک و سوهانک منتهی می‌شود و همواره خیل عظیمی از جمعیت را بسوی خود فرامی‌خواند.
 - منطقه سوم دشتی است که قسمت اعظم شهر تهران بر آن گسترده شده و دارای شیب ملایمی با جهت شمالی-جنوبی است.
- فضای جغرافیایی شهر تهران در کوه و دشت به وسیله دو رود کرج در غرب و جاجرود در شرق مشخص می‌شود که در نزدیکی کویر نمک در جنوب شرقی تهران به یکدیگر می‌پیوندند.

دشت تهران

به استثناء نواحی شمالی استان که به دلیل واقع شدن در کوهپایه‌های البرز اندکی معتدل و مرطوب است. بقیه نقاط دارای تابستان‌های گرم و خشک و زمستان‌های معتدل و گاهی سرد می‌باشد که نشانه و خصوصیت مناطق دشتی را نشان می‌دهد. دشت تهران از هشتگرد آغاز می‌شود و تا دشت ورامین ادامه می‌یابد. دشت‌ها، به دلیل شیب کمی که از شمال شرقی به سوی جنوب غربی دارند؛ بستر مناسبی را برای زندگی به وجود آورده‌اند. به طوری که تعداد شهرها در این مناطق افزایش یافته است. دشت‌های آبرفتی که قسمتی از این دشت‌ها را تشکیل می‌دهد، با ارتفاعی بالغ بر ۷۹۰ متر از سطح دریا، جزء پست‌ترین مناطق دشتی به شمار می‌آید.

۴-۲-۲ شیب

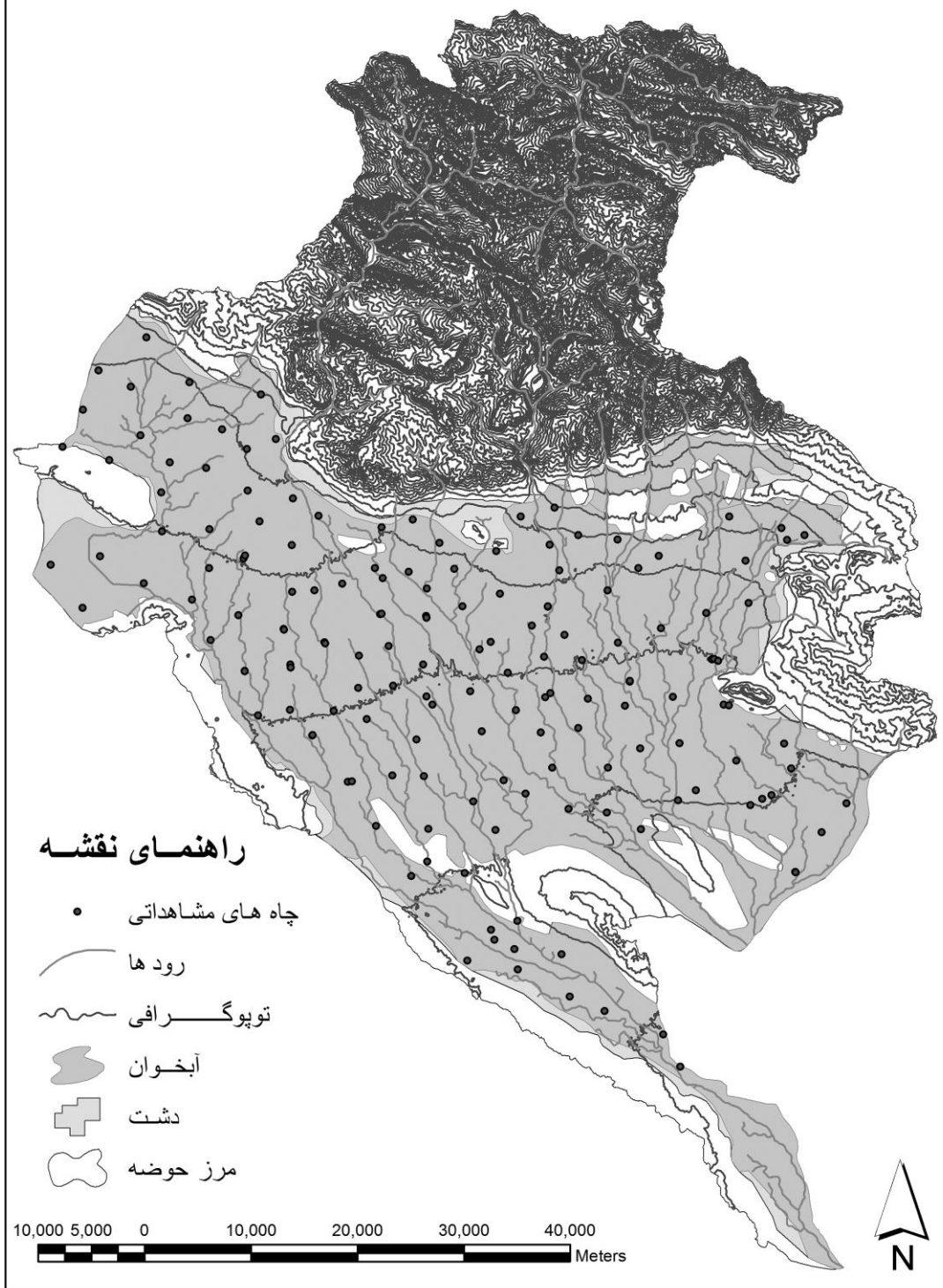
شیب متوسط از شمال به جنوب در دامنه کوهستان شمیرانات ۱۰٪ تا ۱۵٪، از تجریش تا تپه‌های عباس‌آباد، با شیب متوسط ۳٪ تا ۵٪، از عباس‌آباد تا خیابان انقلاب ۲٪ و از مرکز شهر تهران تا کناره ۱٪ است.

۴-۲-۳ ارتفاع از سطح دریا

ارتفاع کنونی تهران از سطح دریا در حدود ۹۰۰ تا ۱۸۰۰ متر است. در میدان تجریش ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متر و در میدان راه‌آهن ۱۱۰۰ متر بالاتر از سطح دریا می‌باشد. لازم به ذکر است که این اختلاف سطح به علت گستردگی و وسعت زیاد این شهر می‌باشد.

از جمله ارتفاعات شمال تهران، قله توچال، به ارتفاع ۳۹۳۳ متر مشاهده می‌گردد. همچنین، کوه‌هایی چون دماوند شمیرانات و امامزاده داوود در اطراف آن اقلیم این بخش را تحت تأثیر قرار می‌دهند. در شکل (۴-۱) نقشه دشت، آبخوان، توپوگرافی منطقه، رودها و پراکندگی چاه‌های مشاهداتی آورده شده است.

نقشه پراکندگی چاه های مشاهداتی بر آبخوان



شکل (۴-۱) نقشه آبخوان تهران-کرج

۳-۴ مشخصات کلی آب و هوا

منابع آب فیزیکی نیز از فاکتورهای مهم در شکل‌گیری اقلیم تهران است. از جمله این منابع می‌توان رودخانه جاجرود و کرج و سدهایی چون امیرکبیر، لتیان و لار را نام برد.

تهران دارای تابستان گرم به ویژه در مناطق جنوب و مرکز شهر و هوای معتدل در شمال شهر می‌باشد. در زمستان نیز مرکز شهر تهران معتدل است ولی بخش‌های شمالی شهر سرد است و دما بارها به زیر صفر می‌رسد. تهران در فصول سرد سال تحت تأثیر سیستم‌های پرفشار شمالی (سیبری) قرار گرفته و دارای زمستان سرد و خشک و عموماً آلوده است و در ماه‌های گرم سال متأثر از سیستم‌های کم‌فشار حرارتی کویر مرکزی واقع شده و دارای تابستانی گرم و خشک است.

برای مشخصه‌های کلی آب و هوای تهران، می‌توان به طور مثال به آمار و ارقام مشخصه‌های اقلیمی ایستگاه سینوپتیک ژئوفیزیک در دوره آماری ۱۳۷۰ تا ۱۳۸۰ به شرح زیر اشاره کرد:

میانگین بارندگی سالانه ۵۶۱/۸ میلی‌متر می‌باشد و سال‌های ۱۳۵۷-۵۸ و ۱۳۷۵-۷۶ به ترتیب با بارندگی ۸۴۵ و ۲۷۵/۰ میلی‌متر، مرطوب‌ترین و خشک‌ترین سال‌ها می‌باشد. از مجموع بارندگی سالانه، مقدار ۳۷۷/۰ میلی‌متر (۶۷/۱ درصد) در نیمه اول سال زراعی (پائیز و زمستان) و میزان ۱۵۸/۶ میلی‌متر (۲۸/۲ درصد) در سه ماهه سوم (بهار) و بقیه ۲۶/۲ میلی‌متر (۴/۷ درصد) نیز در فصل تابستان توزیع می‌گردد. ماه‌های اسفند و مرداد به ترتیب با میانگین ۸۷/۹ میلی‌متر (۱۵/۷ درصد بارندگی سالانه) و ۷/۹ میلی‌متر (۱/۴ درصد بارندگی سالانه) پر بارش‌ترین و کم‌بارش‌ترین ماه در ایستگاه فوق می‌باشند. حداقل و حداکثر مطلق دما به ترتیب ۱۹/۰- و ۳۱/۸ درجه و میانگین سالیانه نیز ۸/۱ درجه سانتیگراد می‌باشد. ماه مرداد با میانگین ۲۵/۷ درجه سانتیگراد و بهمن با ۸/۰- درجه سانتیگراد به ترتیب گرم‌ترین و سردترین ماه سال محسوب می‌شوند. میانگین تعداد روزهای یخبندان ۴۵ روز می‌باشد. میانگین سالیانه رطوبت نسبی ۵۰ درصد و میانگین حداکثر و حداقل آن به ترتیب ۶۴ و ۳۹ درصد می‌باشد. میانگین ساعات آفتابی سالیانه در طی دوره آماری برابر با ۲۸۵۱ ساعت به ثبت رسیده است. باد غالب در آبدلی که بر مبنای سه نوبت دیدبانی (صبح، ظهر و عصر) محاسبه گردیده است، در جهت غربی بوده

و متوسط آن ۴/۳ متر بر ثانیه می‌باشد. بیشترین سرعت باد در آبدلی، ۲۵/۵ متر بر ثانیه از سمت شمال و شمال شرق و میانگین سرعت باد ۲ متر بر ثانیه به ثبت رسیده است. (اداره کل هواشناسی استان تهران)

۴-۳-۱ آب زیرزمینی

با توجه به جدول (۴-۲) آبخوان دشت تهران_کرج جزو آبخوان‌های محصور ممنوعه بحرانی می‌باشد که دارای هدایت هیدرولیکی ۱۷۰۵ می‌باشد.

طبق گزارشات وزارت نیرو، بی‌توجهی به حفاظت از منابع آب زیرزمینی، موجب مشهود شدن پیامدهای کنونی و بحرانی‌شدن وضعیت آبخوان تهران شده است؛ به‌طوری که کسری مخزن و افت شدید سطح آب، موجب کمبود آب و عدم قطعیت در تامین آب تهران شده است و افزون بر آن، به استناد گزارش سازمان زمین‌شناسی کشور، پدیده فرونشست زمین در بسیاری از دشت‌ها، موجب مرگ آبخوان‌ها شده و خطرهای خسارت‌های جبران‌ناپذیری به زیرساخت‌های کشور وارد کرده است.

نرخ متوسط فرونشست در دشت تهران افزون بر ۳۶ سانتی‌متر در سال بوده ضمن آنکه تغییر کیفی آب زیرزمینی در اثر کاهش حجم مخزن، ایجاد فروچاله‌ها و شکاف‌های بزرگ در دشت‌ها و تهدید حیات شهر، در اثر تخلیه آبخوان‌ها از دیگر واقعیت‌ها است [ارزمگیر. ر، بلورچی. م، ۱۳۸۹].

جدول (۴-۲) آب مصرفی دشت ممنوعه بحرانی تهران_کرج

نام آبخوان	وضعیت بهره‌برداری	متوسط هدایت الکتریکی	کشاورزی (میلیون مترمکعب)	تخلیه کل (میلیون مترمکعب)	کل مصرف (میلیون مترمکعب)	تخلیه چشمه (هزارمترمکعب)	تخلیه قنات (هزارمترمکعب)
تهران - کرج	ممنوعه بحرانی	۱۷۰۵	۱۳۷۲,۵۵۳	۲۶۲۰,۴۲	۲۴۴۰,۴۵	۱۲۰۰۰	۲۹۳۷۶۸,۸۸

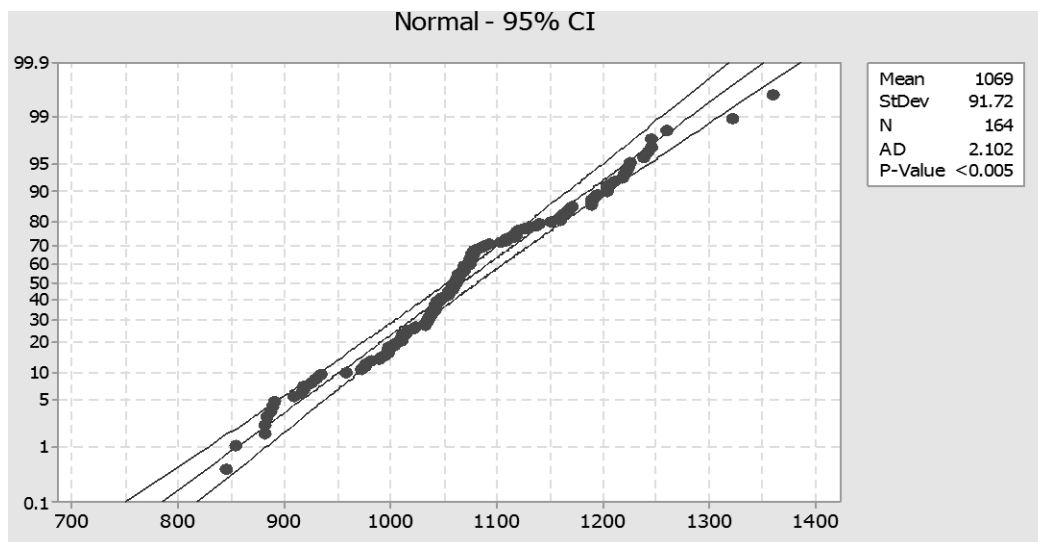
مساحت آبخوان تهران_کرج ۲۳۲۷۳۸۷ مترمربع می‌باشد. بنابر موارد ذکر شده آبخوان تهران در متراکم‌ترین حالت باید دارای ۲۳۳ حلقه چاه مشاهده‌ای و در حالت تراکم قابل قبول دارای ۹۳ حلقه چاه مشاهده‌ای باشد. که در حال حاضر مقداری بین این دو است.

فصل پنجم : نتایج

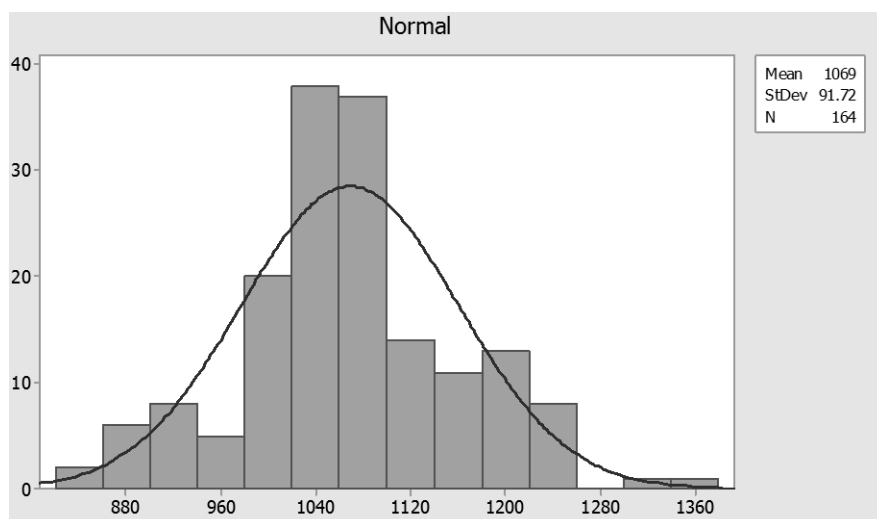
۵-۱ آماده سازی داده ها

به منظور مدل سازی ساختار مکانی متغیرهای بارندگی و سطح ایستابی چاه های مشاهده ای با استفاده از روش زمین آمار لازم است تا داده های در دسترس از لحاظ نرمال بودن کنترل شوند. در روش زمین آمار شرط نرمال بودن داده ها اساس کار را تشکیل می دهد ولی در عمل ممکن است فرض نرمال بودن داده ها برقرار نباشد. در این صورت می توان با استفاده از روش های تبدیل توزیع، داده ها را به صورت نرمال درآورد. مهم ترین تبدیل های موجود در این رابطه عبارتند از تبدیل لگاریتمی، گرفتن ریشه از اعداد (تبدیل رادیکالی) و تبدیل باکس_کاکس. تبدیل لگاریتمی زمانی استفاده می شود که داده های مشاهده ای دارای توزیع نامتقارن با چولگی مثبت باشند. این بدان معناست که نمونه های با مقدار کمتر از میانگین فراوان تر از نمونه های با مقادیر بیشتر می باشند. در این صورت با گرفتن لگاریتم از داده های مورد نظر ممکن است توزیع داده های تبدیل یافته متقارن شده و به توزیع نرمال نزدیک تر شود. عمل ریشه گیری از اعداد نیز می تواند در تبدیل توزیع نمونه ها به توزیع نرمال در صورتی که ماهیت داده ها در اثر گرفتن ریشه تغییر نکند مورد استفاده قرار گیرد. تبدیل باکس_کاکس قادر است بسیاری از توابع توزیع را به توزیع نرمال نزدیک نماید.

به منظور بررسی نرمال بودن داده‌های بارندگی نمودار توزیع تجمعی احتمال به همراه حدود اعتماد مربوطه در سطح ۹۵٪ در شکل (۱-۵) و همچنین هیستوگرام فراوانی داده‌های مشاهده‌ای در شکل (۲-۵) رسم شده است و در جدول (۱-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های میانگین آورده شده.



شکل (۱-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های بلندمدت ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و حدود اعتماد ۹۵٪

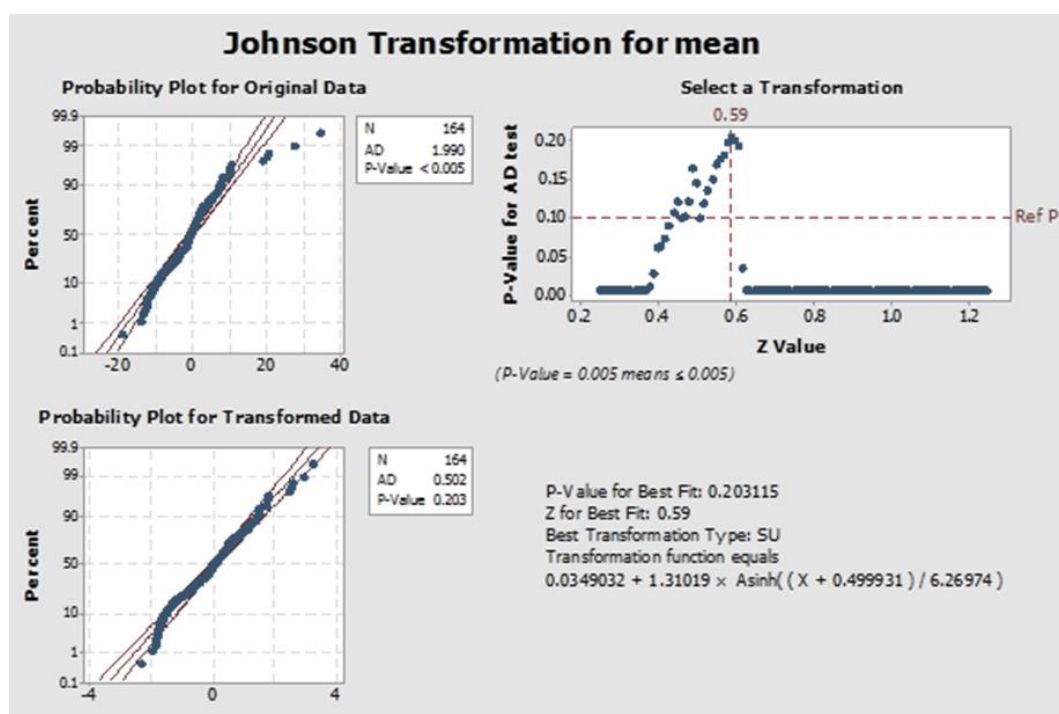


شکل (۲-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های بلندمدت ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و منحنی توزیع نرمال

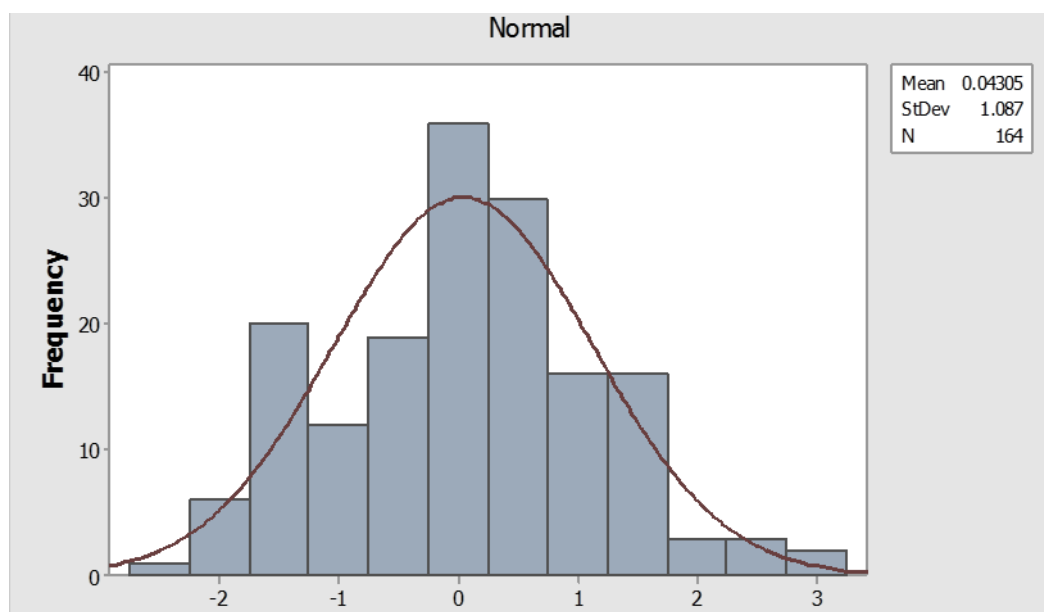
جدول (۱-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های میانگین

مقدار	توصیف
۸۴۵,۹۷	حداقل
۱۳۶۱,۱۳	حداکثر
۱۰۶۹	میانگین
$۰,۰۰۳۱ \pm ۱۰۶۱,۸۳۶$	میانه
۹۱,۷۲	انحراف معیار

همانطور که از روی شکل (۱-۵) پیداست با توجه به مقدار P_Value که کمتر از ۰/۰۰۵ است و همچنین بیرون‌زدگی نمودار از باند اطمینان ۹۵٪، نمی‌توان فرضی که بیانگر پیروی داده‌ها از توزیع نرمال است را قبول کرد و بنابراین این فرض رد می‌شود. همچنین شکل (۲-۵) نیز بیانگر این مطلب است که داده‌ها دارای چولگی مثبت می‌باشد. به منظور نرمال نمودن داده‌ها، روش‌های لگاریتم‌گیری و تبدیل باکس_کاکس استفاده شد که قادر به نرمال کردن داده‌ها نبودند. بنابراین از روش تبدیل جانسون استفاده گردید. با استفاده از این روش داده‌ها نرمال شدند و نتایج به دست‌آمد. شکل (۳-۵) منحنی تجمعی احتمال و شکل (۴-۵) هیستوگرام فراوانی مقادیر تبدیل یافته را نشان می‌دهد. همچنین خلاصه مشخصات آماری داده‌های تبدیل یافته در جدول (۲-۵) آورده شده‌است.



شکل (۳-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های تبدیل یافته ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و حدود اعتماد ۹۵٪

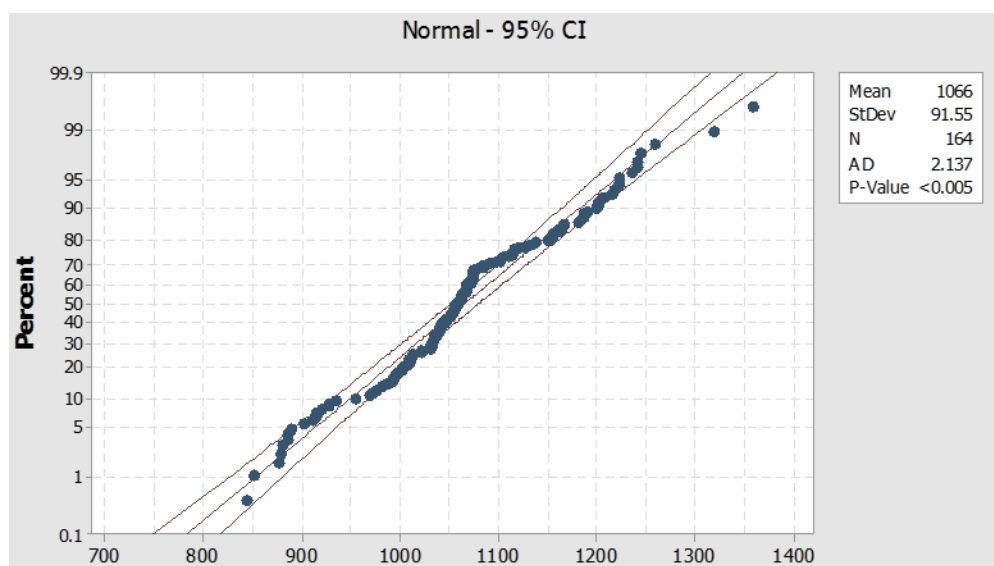


شکل (۴-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های تبدیل یافته ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و منحنی توزیع نرمال ۹۵٪

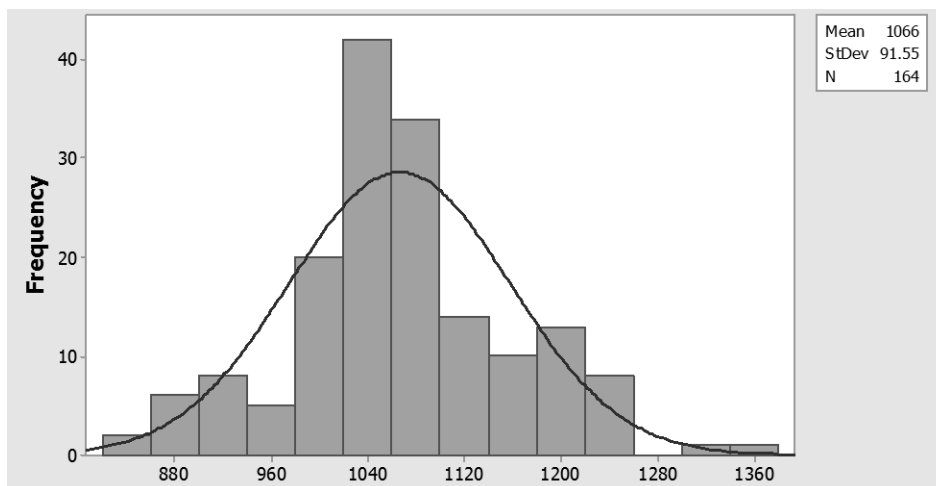
خلاصه مشخصات آماری داده‌های میانگین نرمال شده جدول (۲-۵)

توصیف	مقدار
حداقل	-۲,۳
حداکثر	۳,۲۲
میانگین	۰,۰۴۳۰
میانه	۰,۰۵±۰,۰۰۱
انحراف معیار	۱,۰۸۷

عملیات مشابه برای داده‌های مینیمم استخراج شده نیز انجام شد. شکل‌های (۵-۵) و (۶-۵) به ترتیب منحنی تجمعی احتمال و هیستوگرام فراوانی داده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین خلاصه مشخصات آماری داده‌ها در جدول (۳-۵) آورده شده است.



شکل (۵-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های مینیمم (میانگین - انحراف معیار) با حدود اعتماد ۹۵٪



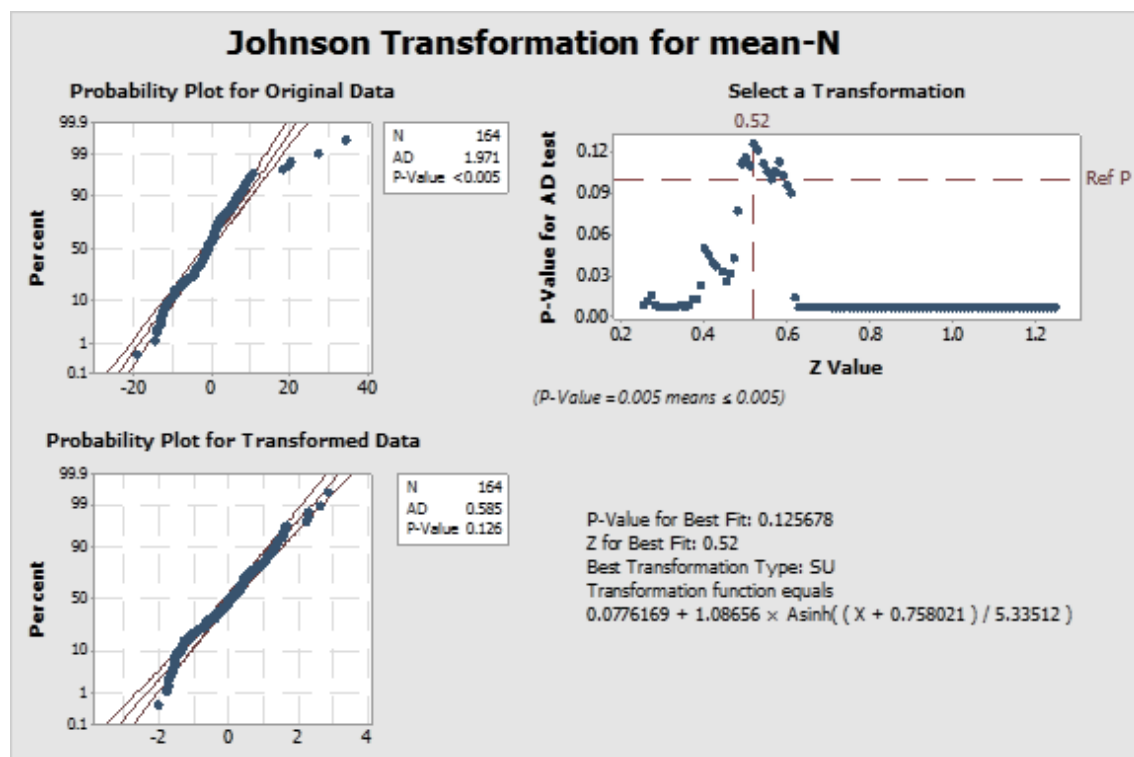
شکل (۵-۶) هیستوگرام فراوانی داده‌های بلندمدت و منحنی توزیع نرمال داده‌های مینیمم

جدول (۵-۳) خلاصه مشخصات آماری داده‌های مینیمم

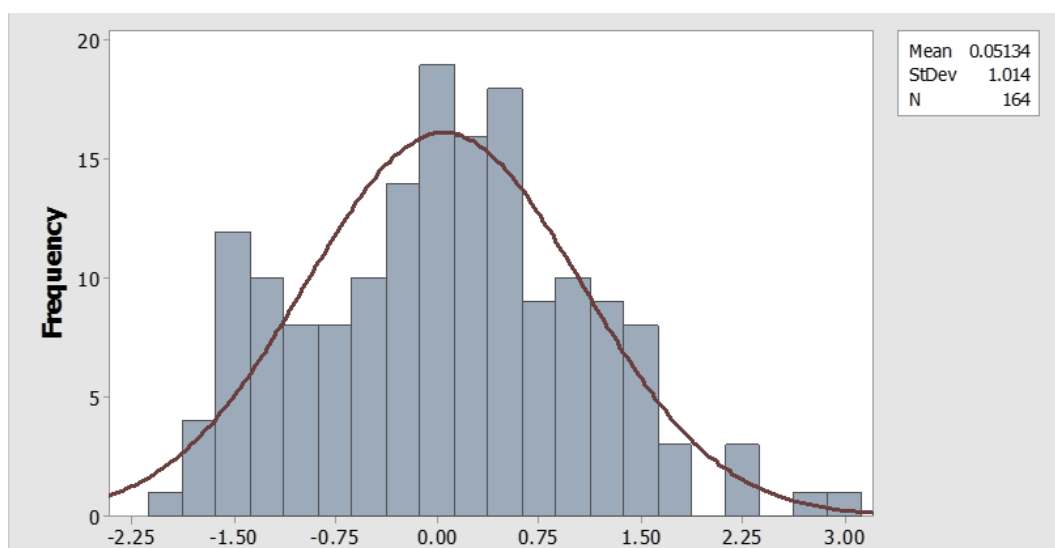
مقدار	توصیف
۸۴۴,۸۶	حداقل
۱۳۵۹,۷۲	حداکثر
۱۰۶۶	میانگین
$۰,۰۸۷ \pm ۱۰۵۸,۳۱۳$	میانه
۹۱,۵۵	انحراف معیار

همانطور که از روی شکل (۵-۵) پیداست در سطح اطمینان ۹۵٪ نمی‌توان فرضی که بیانگر پیروی داده‌ها از توزیع نرمال است قبول کرد و بنابراین این فرض رد می‌شود. همچنین شکل (۵-۶) نیز بیانگر این مطلب است که داده‌ها دارای چولگی مثبت می‌باشد. به منظور نرمال نمودن داده‌ها، روش‌های لگاریتم‌گیری و تبدیل باکس_کاکس استفاده شد که قادر به نرمال کردن داده‌ها نبود. بنابراین از روش تبدیل جانسون استفاده گردید. با استفاده از این روش داده‌ها نرمال شدند و نتایج به دست آمد.

شکل (۵-۷) منحنی تجمعی احتمال و شکل (۵-۸) هیستوگرام فراوانی مقادیر تبدیل یافته را نشان می‌دهد. همچنین خلاصه مشخصات آماری داده‌های تبدیل یافته در جدول (۵-۴) آورده شده است.



شکل (۷-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های تبدیل یافته با حدود اعتماد ۹۵٪

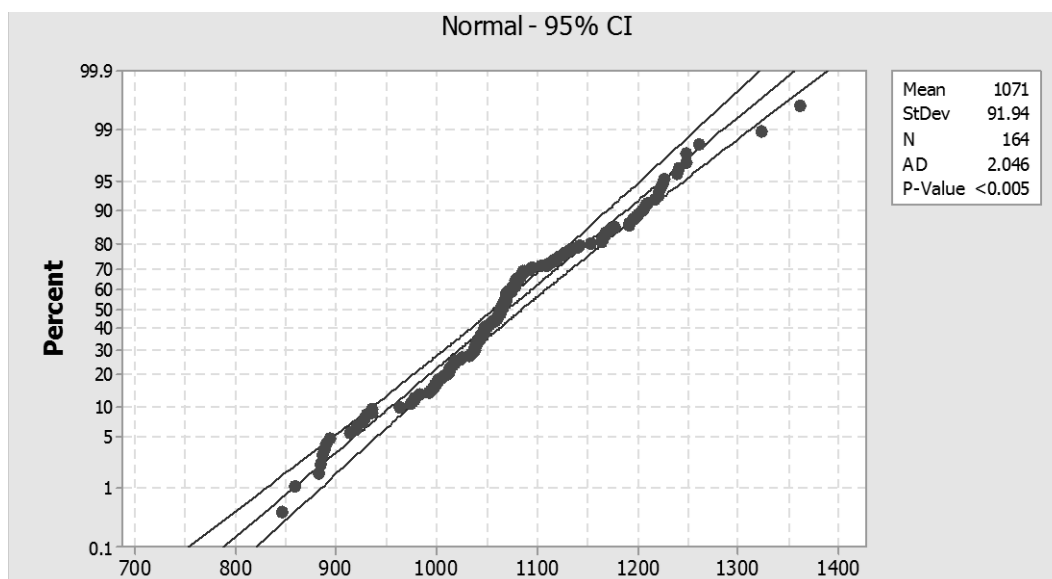


شکل (۸-۵) هیستوگرام فراوانی داده‌های ماکسیمم و منحنی توزیع نرمال

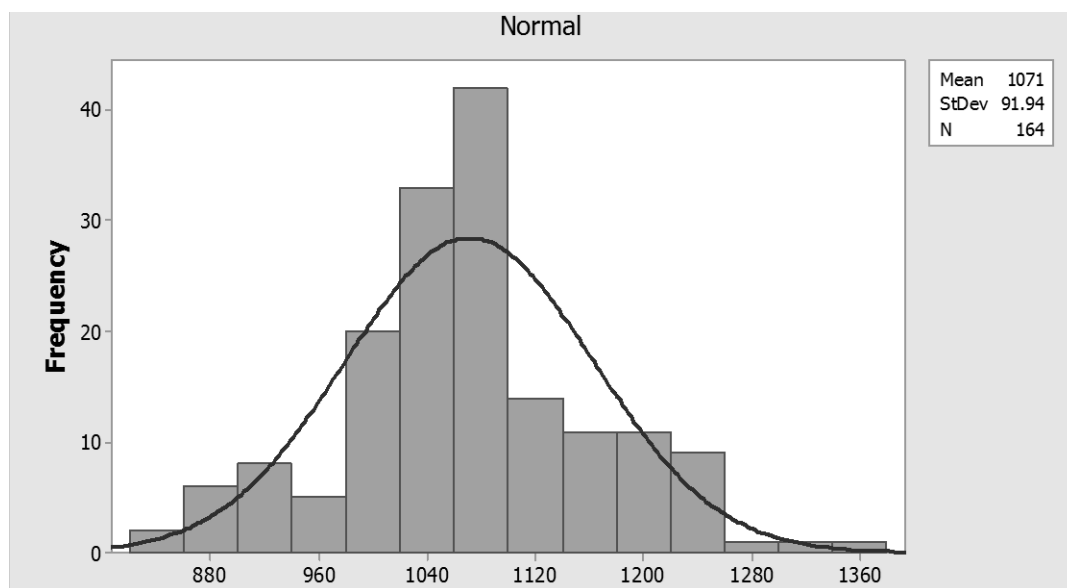
جدول (۴-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های مینیمم تبدیل یافته

توصیف	مقدار
حداقل	-۲,۰۳
حداکثر	۲,۸۹
میانگین	۰,۰۵۱
میانه	$۰,۰۷ \pm ۰,۰۰۱$
انحراف معیار	۱,۰۱۴

عملیات مشابه برای داده‌های ماکزیمم (میانگین + انحراف معیار) استخراج شده نیز انجام شد. شکل‌های (۹-۵) و (۱۰-۵) منحنی تجمعی احتمال و هیستوگرام فراوانی داده‌ها را نشان می‌دهد. همچنین خلاصه مشخصات آماری داده‌ها در جدول (۵-۵) آورده شده است.



شکل (۹-۵) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های ماکزیمم (میانگین + انحراف معیار) ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و حدود اعتماد ۹۵٪

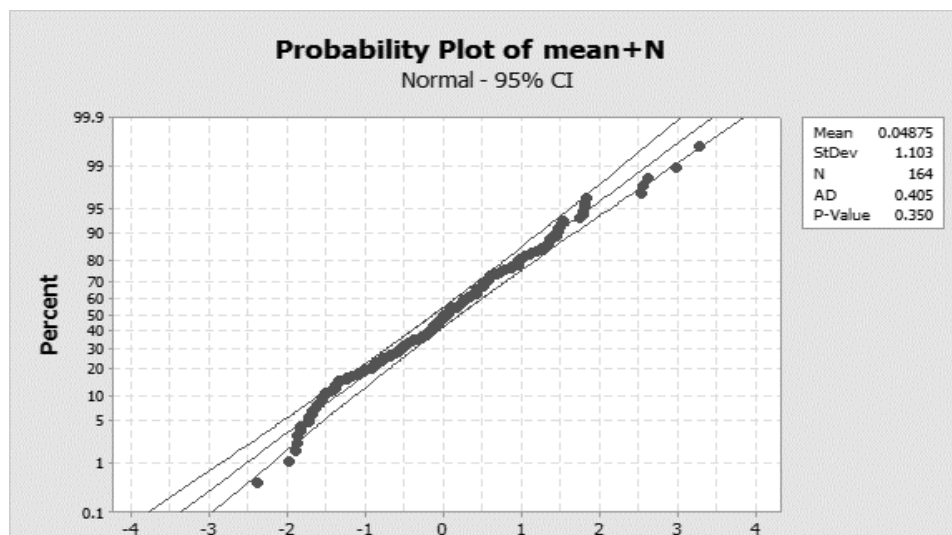


شکل (۵-۱۰) هیستوگرام فراوانی داده‌های بلندمدت و منحنی توزیع نرمال

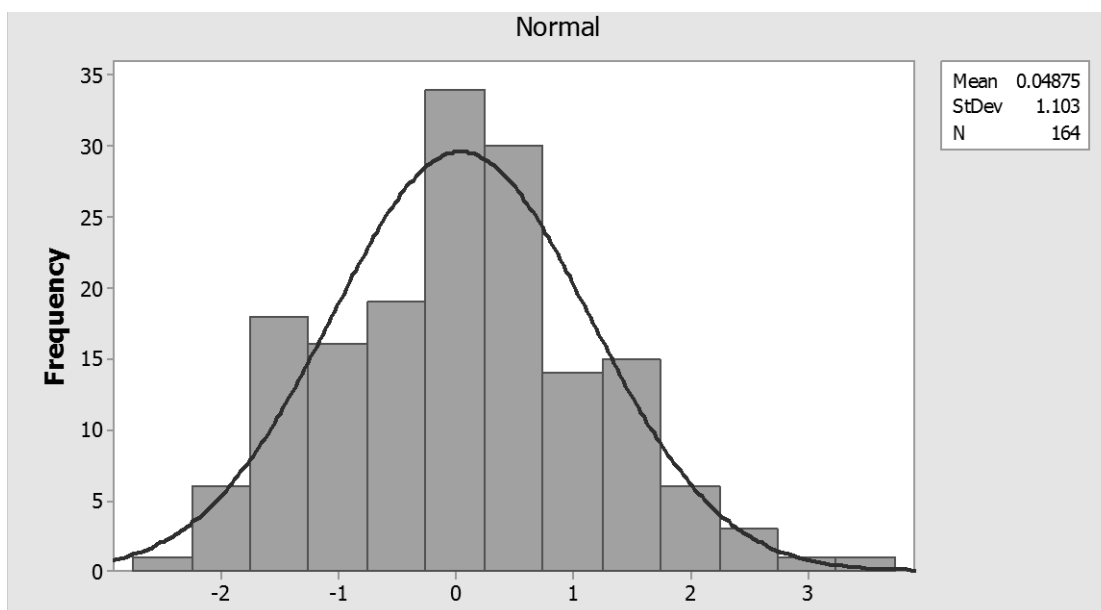
جدول (۵-۵) خلاصه مشخصات آماری داده‌های ماکزیمم

مقدار	توصیف
۸۴۷,۰۸	حداقل
۱۳۶۲,۵۴	حداکثر
۱۰۷۱	میانگین
$۰,۰۰۷ \pm ۱۰۶۴,۵۵$	میانه
۹۱,۹۴	انحراف معیار

همانطور که از شکل (۵-۹) پیداست در سطح اطمینان ۹۵٪ نمی‌توان فرضی که بیانگر پیروی داده‌ها از توزیع نرمال است قبول کرد و بنابراین، این فرض رد می‌شود. همچنین شکل (۵-۱۰) نیز بیانگر این مطلب است که داده‌ها دارای چولگی مثبت می‌باشد. به منظور نرمال نمودن داده‌ها، روش‌های لگاریتم‌گیری و تبدیل باکس-کاکس استفاده شد که قادر به نرمال کردن داده‌ها نبودند. بنابراین از روش تبدیل جانسون استفاده گردید. با استفاده از این روش داده‌ها نرمال شدند و نتایج به دست آمد.. شکل (۵-۱۱) منحنی تجمعی احتمال و شکل (۵-۱۲) هیستوگرام فراوانی مقادیر تبدیل یافته را نشان می‌دهد. همچنین خلاصه مشخصات آماری داده‌های تبدیل یافته در جدول (۵-۶) آورده شده است.



شکل (۵-۱۱) نمودار توزیع تجمعی احتمال داده‌های تبدیل یافته ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و حدود اعتماد ۹۵٪



شکل (۵-۱۲) هیستوگرام فراوانی داده‌های نرمال شده ایستگاه‌های موجود در محدوده مورد مطالعه و منحنی توزیع نرمال

جدول (۵-۶) خلاصه مشخصات آماری داده‌های ماکزیمم تبدیل یافته

مقدار	توصیف
-۲,۳۸	حداقل
۳,۲۹	حداکثر
۰,۰۴۹	میانگین
$۰,۰۴۷ \pm ۰,۰۰۴$	میانه
۱,۱۰۳	انحراف معیار

۵-۲ تخمین ساختار مکانی داده‌ها با استفاده از روش زمین‌آمار

به منظور یافتن بهترین مدلی که بیانگر ساختار مکانی داده‌های تبدیل یافته باشد مدل‌های کروی گوسی خطی و نمایی مورد بررسی قرار گرفتند. معیارهای مورد ارزیابی به منظور تعیین بهترین مدل برازش یافته شامل ضریب تبیین (R^2) و مجموع مربعات خطاها (RSS) می‌باشد که توسط روابط زیر قابل محاسبه می‌باشند:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_{obs} - \bar{x}_{obs})(x_{cal} - \bar{x}_{cal})}{[\sum_{i=1}^N (x_{obs} - \bar{x}_{obs})^2 \sum_{i=1}^N (x_{cal} - \bar{x}_{cal})^2]^{.5}}$$

$$RSS = \sum_{i=1}^N (x_{obs} - x_{cal})^2$$

که در این روابط x_{obs} و x_{cal} : به ترتیب مقادیر مشاهده‌ای و تخمینی متناظر متغیر مورد نظر؛

$\bar{x}_{obs}$ و $\bar{x}_{cal}$: به ترتیب مقادیر متوسط مشاهده‌ای و تخمینی متناظر متغیر مورد نظر

N : تعداد داده‌ها می‌باشد.

مدل‌های برازش شده به همراه پارامترهای واریوگرام و همچنین معیارهای خطای مورد استفاده در جدول (۷-۵) آورده شده.

جدول (۷-۵) مدل برازش یافته بهینه داده‌های میانگین

معیارهای خطا		پارامترهای مدل			مدل
RSS	R^2	آستانه	دامنه	اثر قطعه‌ای	برازش یافته
۰,۳۹۸	۰,۹۰۵	۲۱۰,۹۰۰۰	۱,۲۱۶۰۰	۰,۱۰۸۰۰	کروی
۰,۵۰۵	۰,۸۸۰	۱۷۲,۲۰۰۰	۱,۲۵۹۰۰	۰,۰۶۸۰۰	نمایی
۶,۸۵	۰,۶۶۲	۸۱,۴۸۵۰	۱,۴۷۴۵۴	۰,۳۸۲۹۸	خطی
۰,۳۱۴	۰,۸۵۳	۲۱۰,۹۰۰۰	۱,۲۱۰۰۰	۰,۱۷۸۰۰	گوسی

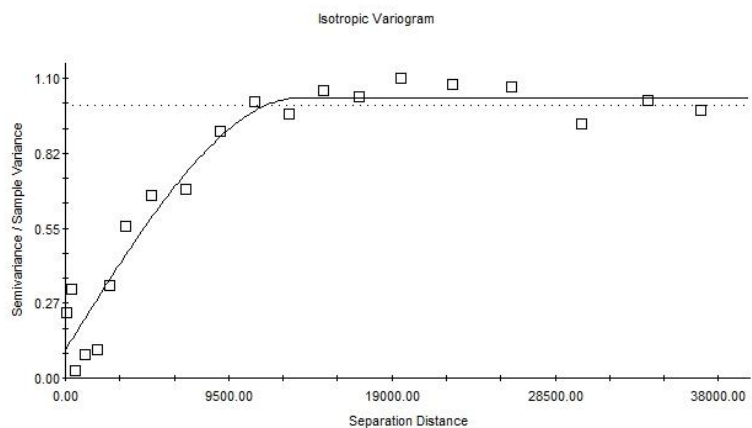
بنابراین مدل کروی با داشتن بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین خطا به عنوان بهترین مدل

برازش در بین سایر مدل‌های مورد بررسی شناخته می‌شود. شکل (۵-۱۳) نمودار واریوگرام کروی را نمایش می‌دهد.

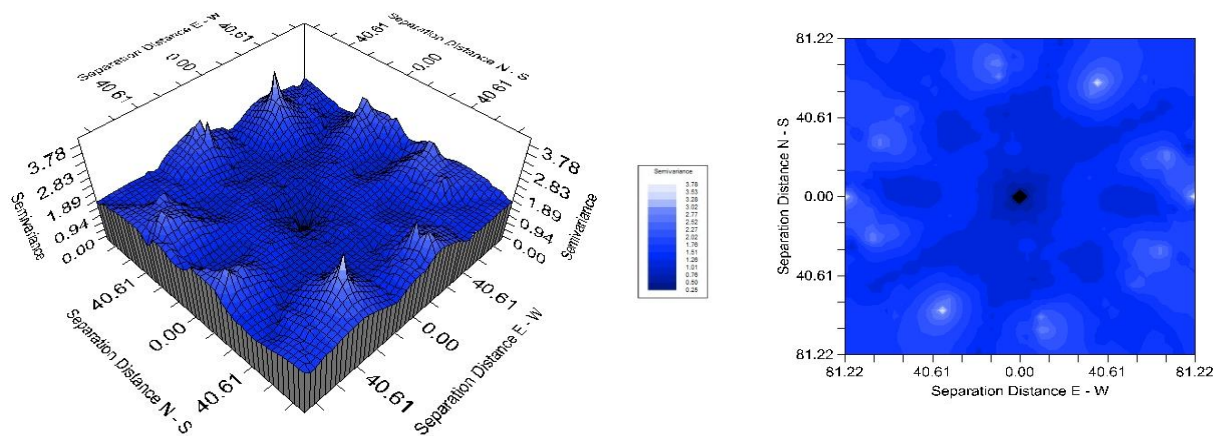
همچنین مطابق شکل (۵-۱۴) بررسی همسانگردی واریوگرام در جهات مختلف نشان می‌دهد که

در جهات مختلف روند تغییرات تراز آب در سطح منطقه ایزوتروپ می‌باشد. بر اساس روش کریجینگ

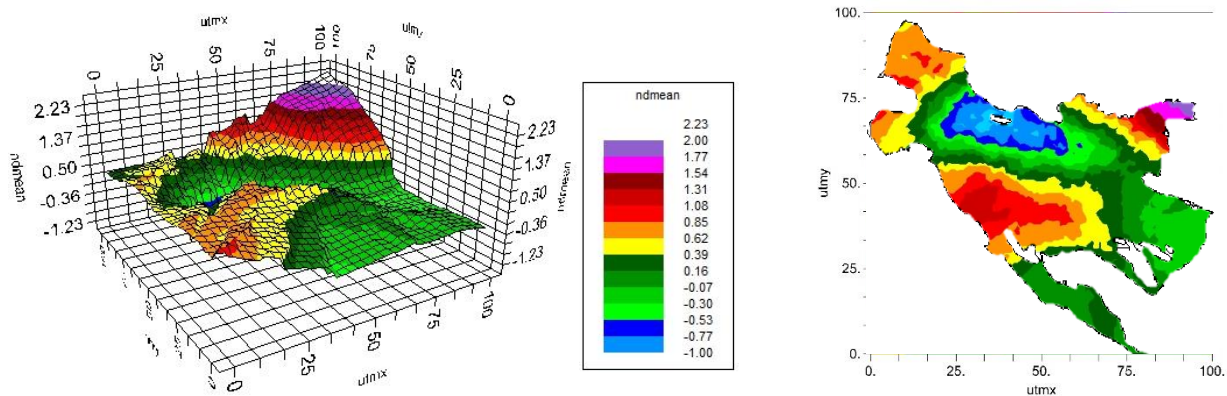
تراز تخمین زده شده برای کل منطقه بر اساس آمار موجود مطابق با شکل (۵-۱۵) می‌باشد.



شکل (۱۳-۵) مدل کروی بهترین مدل برازش بین مدل‌های مورد بررسی شناخته می‌شود.



شکل (۱۴-۵) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر میانگین



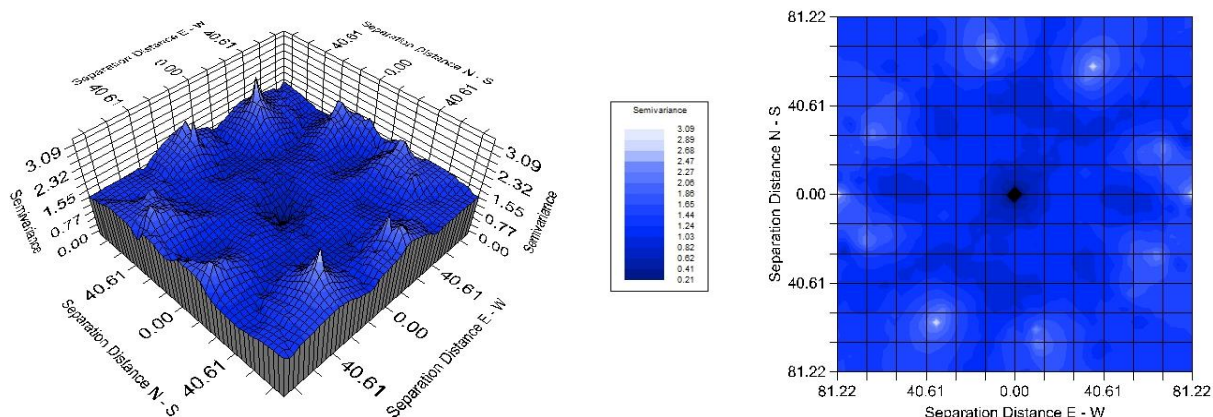
شکل (۱۵-۵) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه‌سازی منطقه برای مقادیر میانگین

عملیات مشابه به منظور تعیین بهترین مدل برازشی به تغییر ساختار مکانی داده‌های سطح ایستابی ماکزیمم و مینییمم نیز انجام گرفت. مدل‌های برازش داده شده به همراه پارامترهای واریوگرام و همچنین معیارهای خطای مورد استفاده برای داده‌های سطح ایستابی در جدول (۵-۸) و جدول (۵-۹) نشان داده شده است. بنابراین مدل کروی با داشتن بیشترین مقدار ضریب تبیین و کمترین خطا به عنوان بهترین مدل برازشی در بین سایر مدل‌های مورد بررسی شناخته می‌شود. شکل این مدل با در نظر گرفتن مقادیر پارامترهای آن به صورت زیر می‌باشد.

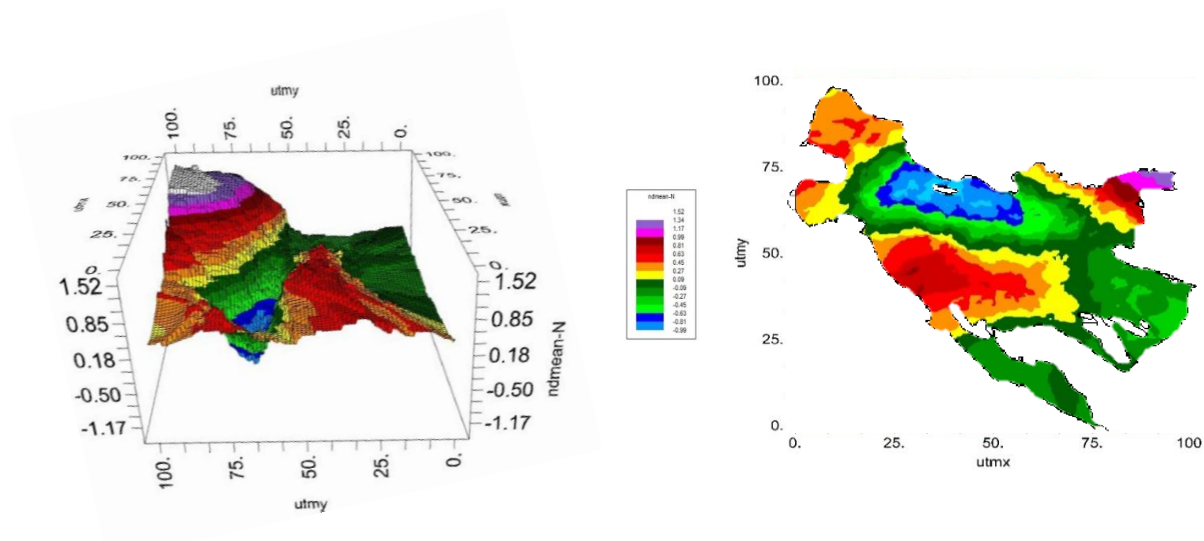
جدول (۵-۸) مدل برازش یافته بهینه داده‌های مینییمم

معیارهای خطا		پارامترهای مدل			مدل برازش یافته
RSS	R^2	آستانه	دامنه	اثر قطعه‌ای	
۰,۱۶۹	۰,۹۴۶	۱۳۴۶۰	۱,۰۶۲۰۰	۰,۰۷۹۰۰	کروی
۰,۲۳۹	۰,۹۲۴	۵۹۰۰	۱,۱۰۱۰۰	۰,۰۳۲۰۰	نمایی
۵,۴۳	۰,۶۰۲	۳۶۹۷۰	۱,۳۶۶۰۶	۰,۳۸۷۲۹	خطی
۰,۱۹۳	۰,۹۴۰	۵۸۸۰	۱,۰۵۷۰۰	۰,۱۴۳۰۰	گوسی

همچنین مطابق شکل (۵-۱۶) و (۵-۱۸)، بررسی همسانگردی واریوگرام در جهات مختلف نشان می‌دهد که در جهات مختلف روند تغییرات سطح ایستابی در سطح منطقه ایزوتروپ می‌باشد. بنابراین واریوگرام متوسط منطقه مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس روش کریجینگ مقدار سطح ایستابی تخمین زده شده برای کل منطقه بر اساس آمار موجود مطابق با شکل (۵-۱۷) و (۵-۱۹) می‌باشد.



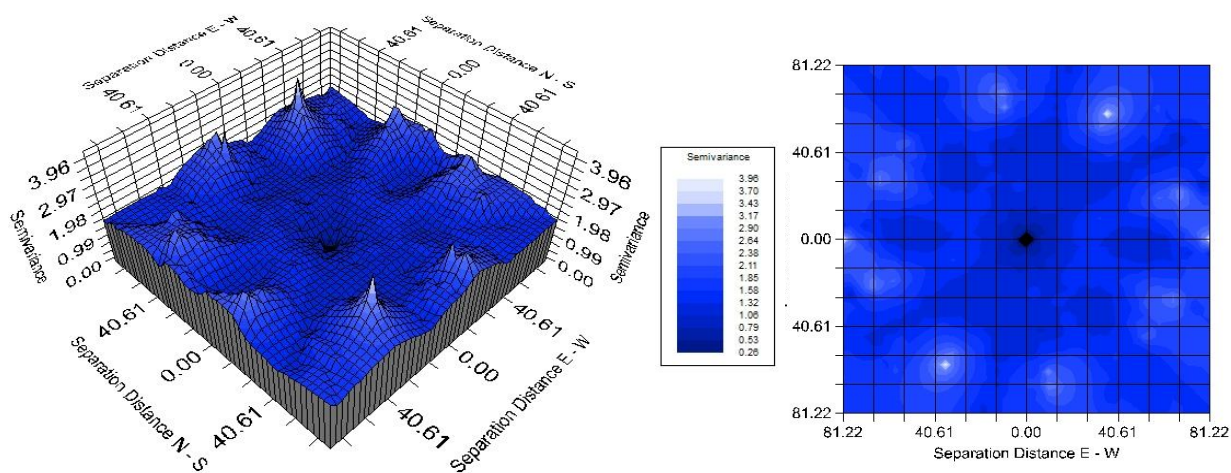
شکل (۵-۱۶) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر مینییمم



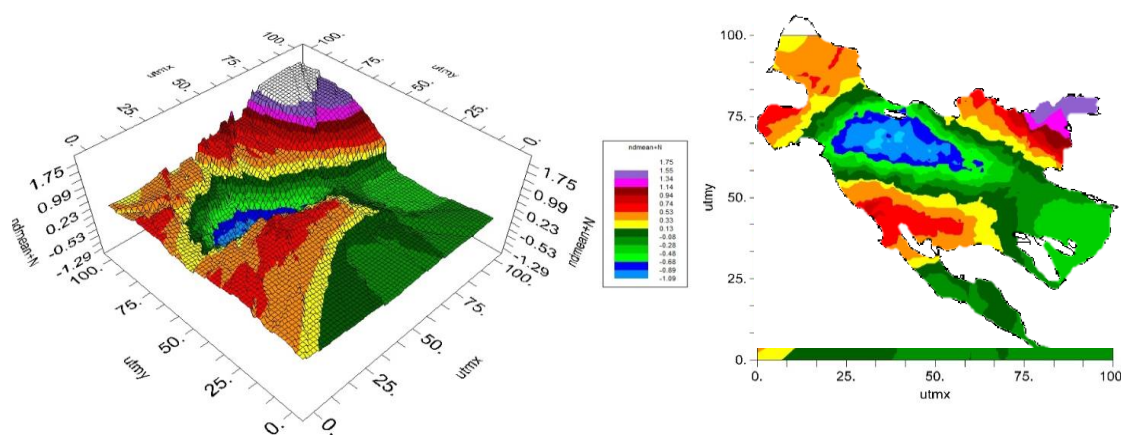
شکل (۵-۱۷) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه سازی منطقه برای مقادیر مینیم

جدول (۵-۹) مدل برازش یافته بهینه ماکزیم

معیارهای خطا		پارامترهای مدل			مدل برازش یافته
RSS	R^2	آستانه	دامنه	اثرقطعه ای	
۰,۲۰۵	۰,۹۳۹	۱۳۶۶۰	۱,۲۵۳۰۰	۰,۱۲۴۰۰	کروی
۰,۳۳۶	۰,۹۱۹	۵۹۸۰۰	۱,۲۹۹۰۰	۰,۰۶۹۰۰	نمایی
۷,۲۲	۰,۶۰۳	۳۶۹۷۰	۱,۶۰۳۱۱	۰,۴۷۳۶۳	خطی
۰,۲۸۳	۰,۹۳۲	۵۹۳۰	۱,۲۴۶۰۰	۰,۱۹۷۰۰	گوسی



شکل (۵-۱۸) نمودار رز سه و دو بعدی مقادیر ماکزیم



شکل (۵-۱۹) نمودار سه و دو بعدی تراز آب شبیه سازی منطقه برای مقادیر ماکسیمم

۵-۲-۱ نتایج شبیه سازی

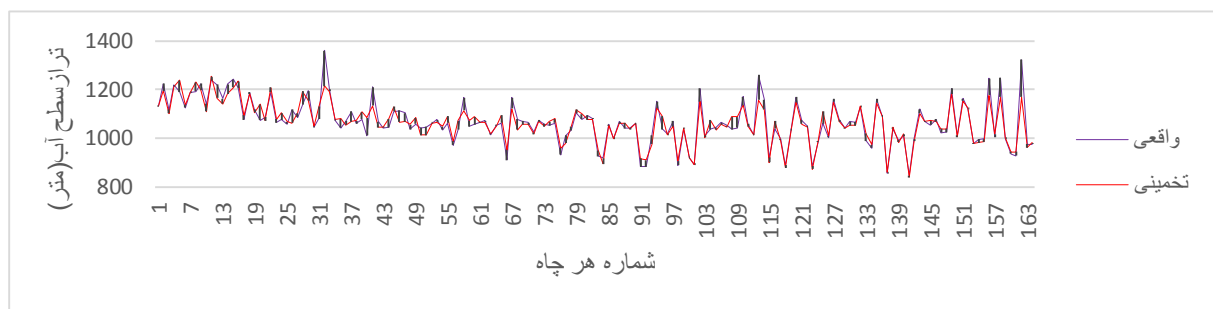
شبیه سازی روی داده های نرمال شده هر سه سری ماکزیمم، مینیمم و میانگین انجام شد و مقدار شبیه سازی شده برای تمام چاه ها و تمام منطقه به تفکیک به دست آمد.

داده های میانگین

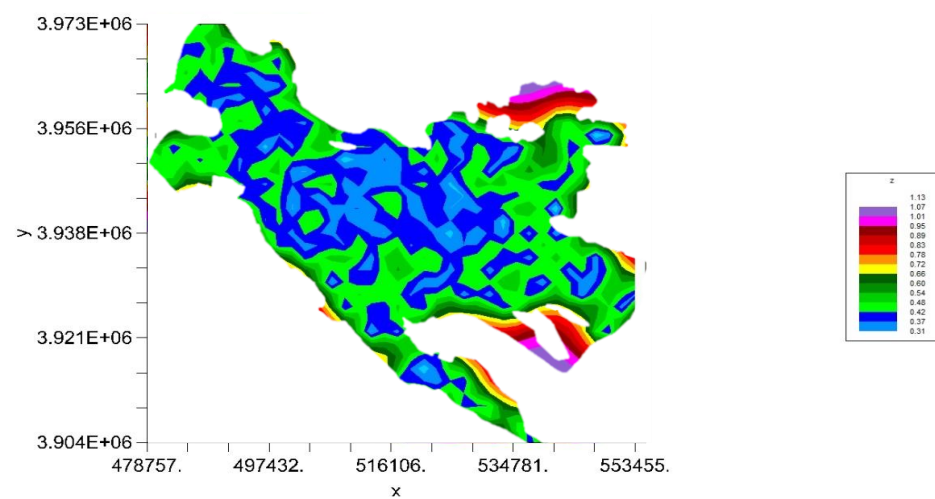
در شکل های زیر نمودار مقدار شبیه سازی شده کریجینگ با نمودار مقادیر واقعی به تفکیک مقایسه می شوند. در مورد داده های میانگین، شکل (۵-۲۰) نشان دهنده مقدار تخمینی و واقعی تراز آب برای ۱۶۴ چاه می باشد. و شکل (۵-۲۳) همین تفاوت در قالب نمودار آورده شده است.

همچنین شکل (۵-۲۱) نقشه توزیع خطای تخمین چاه های واقعی آورده شده است. شکل (۵-۲۲) نقشه توزیع خطای تخمین مقادیر شبیه سازی آورده شده است.

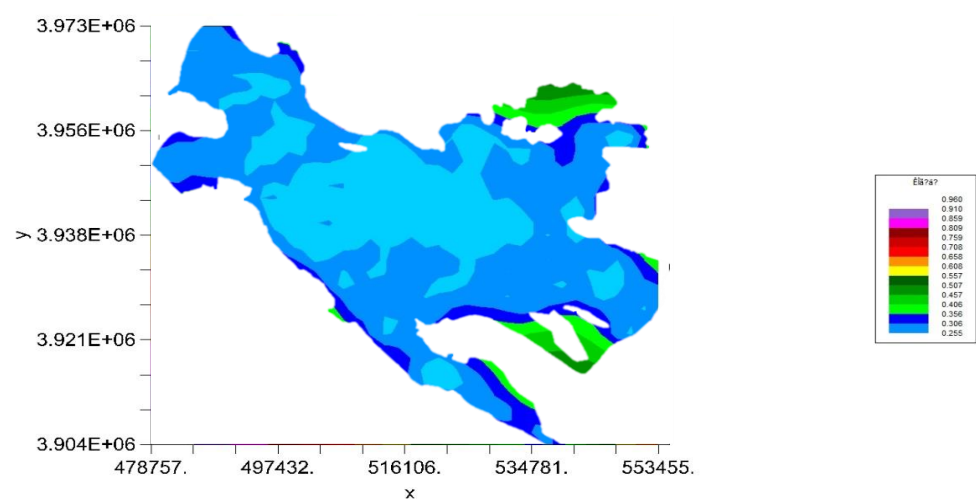
با توجه به نمودارهای آورده شده خواهید دید که میزان تقریب زده شده با مقدار مشاهده ای نزدیک به هم می باشد.



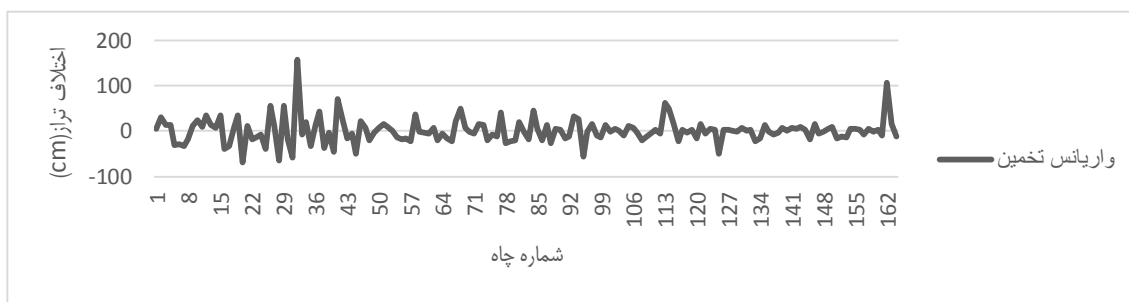
شکل (۵-۲۰) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار میانگین سطح ایستابی (کریجینگ)



شکل (۵-۲۱) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های مشاهداتی میانگین



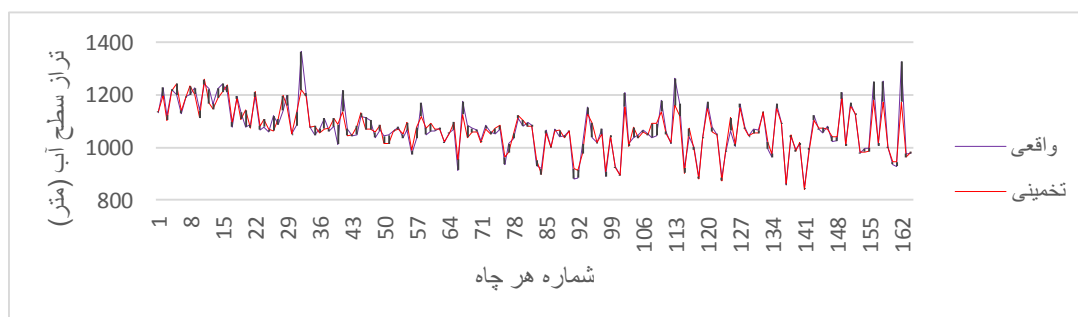
شکل (۵-۲۲) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده میانگین



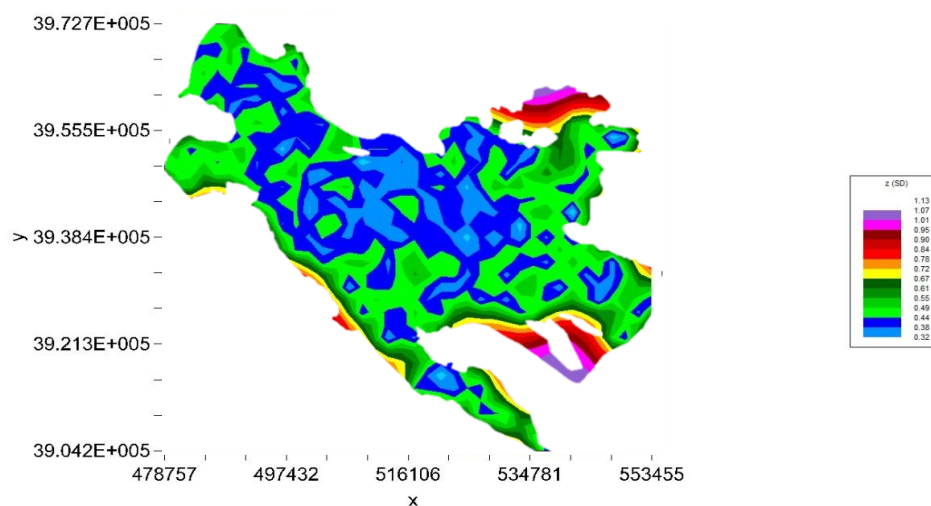
شکل (۵-۲۳) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی میانگین

داده‌های ماکزیمم

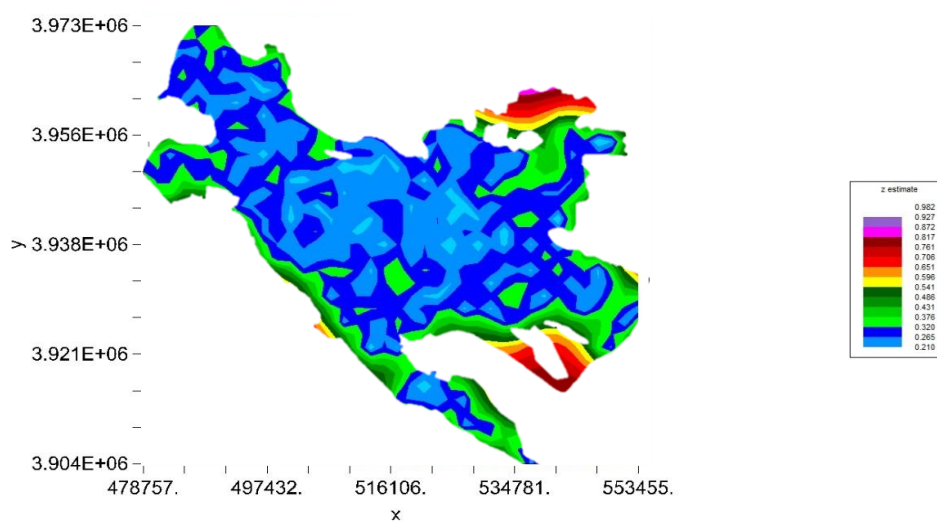
در شکل‌های زیر نمودار مقدار شبیه‌سازی شده کریجینگ با نمودار مقادیر واقعی به تفکیک مقایسه می‌شوند. در مورد داده‌های ماکزیمم، شکل (۵-۲۴) نشان دهنده مقدار تخمینی و واقعی تراز آب برای ۱۶۴ چاه می‌باشد. و شکل (۵-۲۷) همین تفاوت در قالب نمودار آورده شده است. همچنین شکل (۵-۲۵) نقشه توزیع خطای تخمین چاه‌های واقعی آورده شده است. شکل (۵-۲۶) نقشه توزیع خطای تخمین مقادیر شبیه‌سازی آورده شده است. با توجه به نمودارهای آورده شده خواهید دید که میزان تقریب زده شده با مقدار مشاهده‌ای نزدیک به هم می‌باشد.



شکل (۵-۲۴) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار ماکزیمم سطح ایستابی (کریجینگ) ماکزیمم



شکل (۵-۲۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های مشاهداتی ماکزیمم



شکل (۵-۲۶) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده ماکزیمم

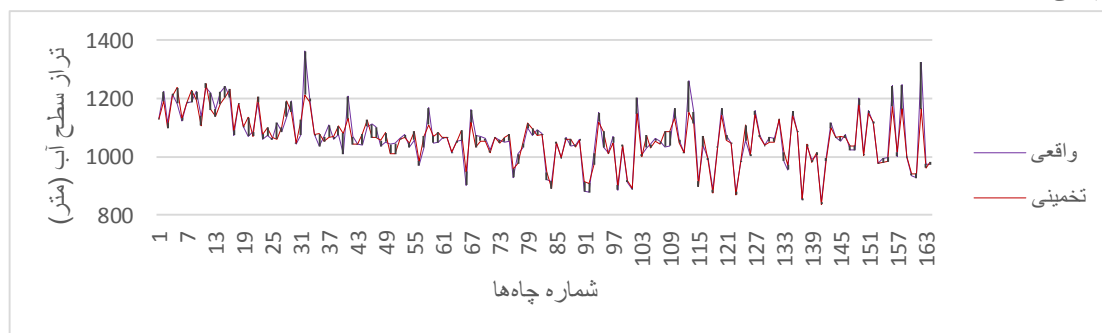


شکل (۵-۲۷) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی ماکزیمم

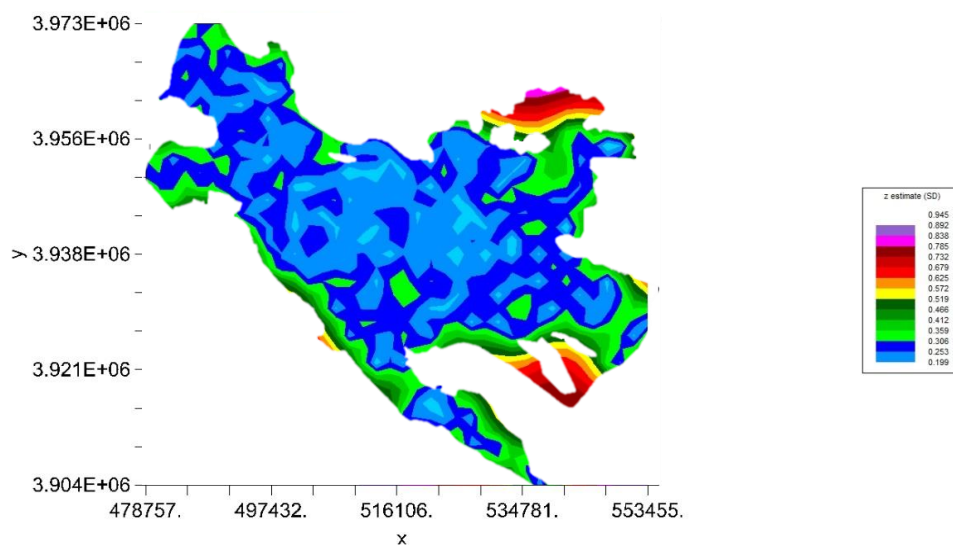
داده‌های مینیمم

در شکل‌های زیر نمودار مقدار شبیه‌سازی شده کریجینگ با نمودار مقادیر واقعی به تفکیک مقایسه می‌شوند. در مورد داده‌های مینیمم، شکل (۵-۲۸) نشان دهنده مقدار تخمینی و واقعی تراز آب برای ۱۶۴ چاه می‌باشد. و شکل (۵-۳۱) همین تفاوت در قالب نمودار آورده شده است. همچنین شکل (۵-۲۹) نقشه توزیع خطای تخمین چاه‌های واقعی آورده شده است. شکل (۵-۳۰) نقشه توزیع خطای تخمین مقادیر شبیه‌سازی آورده شده است.

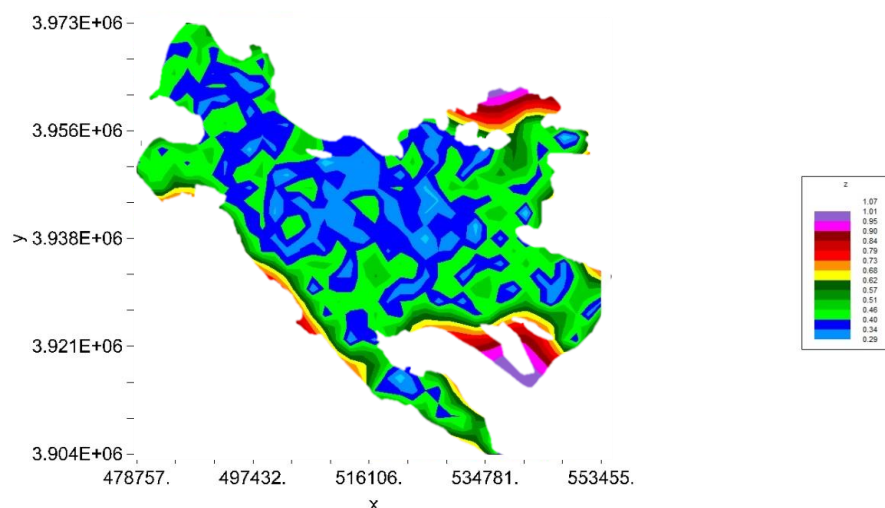
با توجه به نمودارهای آورده شده خواهید دید که میزان تقریب زده شده با مقدار مشاهده‌ای نزدیک به هم می‌باشد.



شکل (۵-۲۸) نمودار مقایسه‌ای برای مقدار مینیمم سطح ایستابی (کریجینگ) مینیمم



شکل (۵-۲۹) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های شبیه‌سازی شده مینیمم



شکل (۵-۳۰) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های واقعی شده مینیم



شکل (۵-۳۱) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی مینیم

جدول (۵-۱۰) اختلاف تراز چاه‌های شبیه‌سازی شده با مقدار واقعی و خطای تخمین

	ماکزیمم اختلاف تراز (cm)	مینیمم اختلاف تراز (cm)	میانگین اختلاف تراز (cm)	درصد اختلاف تراز	میانه اختلاف تراز	مجموع خطای تخمین
سری داده‌های میانگین	۱۵۹	۰,۱۱	۱۸,۳۳	۱,۳	۰,۲۶	۴۷۴
سری داده‌های مینیمم	۱۶۲	۰,۳۸	۱۸,۷۹	۱,۴	-۰,۴۸	۵۶۵
سری داده‌های ماکسیمم	۱۵۸	۰,۰۷	۱۸,۴	۱,۳	۰,۹	۴۷۵

۳-۵ نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک

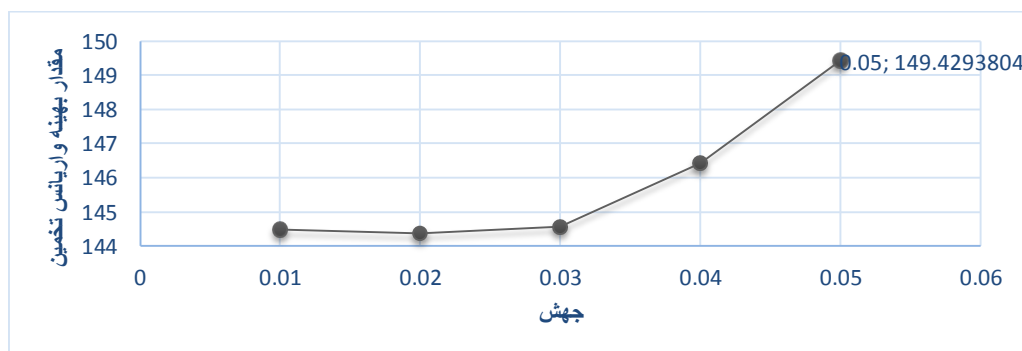
در اجرای الگوریتم ژنتیک بر آن شدیم تا بهترین جانمایی برای چاه‌های مشاهده‌ای را به دست آوریم؛ تابع هدف مورد نظر در این پایان نامه حداقل نمودن واریانس تخمین چاه‌ها می باشد.

ابتدا برای هر متغیر در الگوریتم از جمله جمعیت تعداد نسل و نرخ های تزویج و جهش هر کدام بهترین مقدار را به دست آوردیم که نتایج آن در نمودارها نمایان است. سپس با قرار دادن مقادیر بهینه این متغیرها بهترین نتیجه الگوریتم به دست آمد. در واقع در این تحقیق تابع هدف مینیمم کردن مجموع واریانس خطای کریجینگ چاه‌ها می باشد.

$$\sigma_E^2 = 2 \sum_{i=1}^n \lambda_i \gamma_{i0} - \gamma_0 - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n \lambda_i \lambda_j \gamma_{ij} \quad \leftarrow \text{تابع هدف}$$

۳-۵-۱ بهینه سازی الگوریتم

الگوریتم ژنتیک به خودی خود برای یافتن جواب مناسب نیست و باید پارامترهایی از جمله نرخ جهش، نرخ تقاطع، حداکثر تعداد نسل یا شرط خروج و تعداد افراد جمعیت مشخص باشد. از این رو برای یافتن بهترین مقادیر برای پارامترهای یاد شده به مطالعه تغییر مقدار عددی پارامترها و تغییر در مقدار تابع هدف پرداخته شد. شکل (۳۲-۵) و جدول (۵-۱۱) نشان دهنده میزان تغییرات تابع هدف با تغییر در نرخ جهش را نشان می دهد.



شکل (۳۲-۵) تغییرات بهترین جواب با نرخ جهش که طبق نمودار بهترین نرخ جهش ۰,۰۲ است

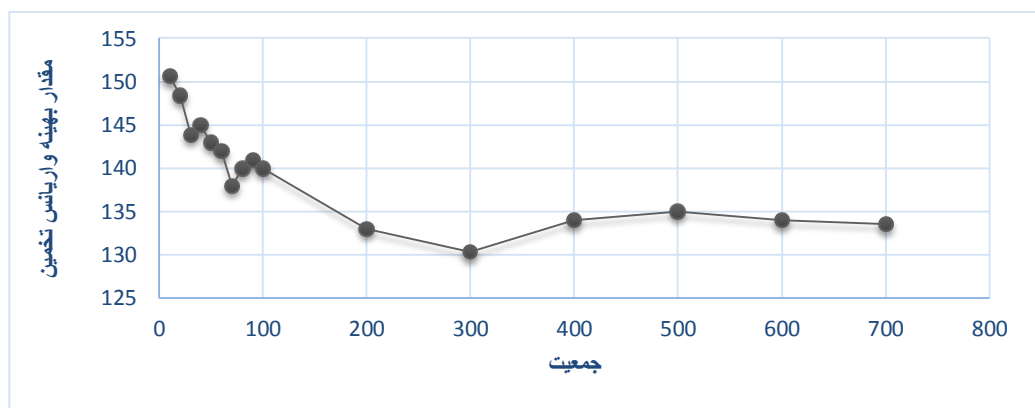
جدول (۵-۱۱) تغییرات نرخ جهش با تابع هدف

نرخ جهش	$\sum \sigma_E^2$
۰/۰۱	۱۴۴/۴۸۹
۰/۰۲	۱۴۴/۳۶۵
۰/۰۳	۱۴۴/۵۷۶
۰/۰۴	۱۴۶/۴۰۶
۰/۰۵	۱۴۹/۴۲۹
۰/۰۶	۱۵۲/۶۷۹

با توجه به نتایج حاصله برترین مقدار برای نرخ جهش، ۰,۰۲ می‌باشد.

شکل (۵-۳۳) و جدول (۵-۱۲) نشان دهنده میزان تغییرات تابع هدف با تغییر در تعداد جمعیت

را نشان می‌دهد.



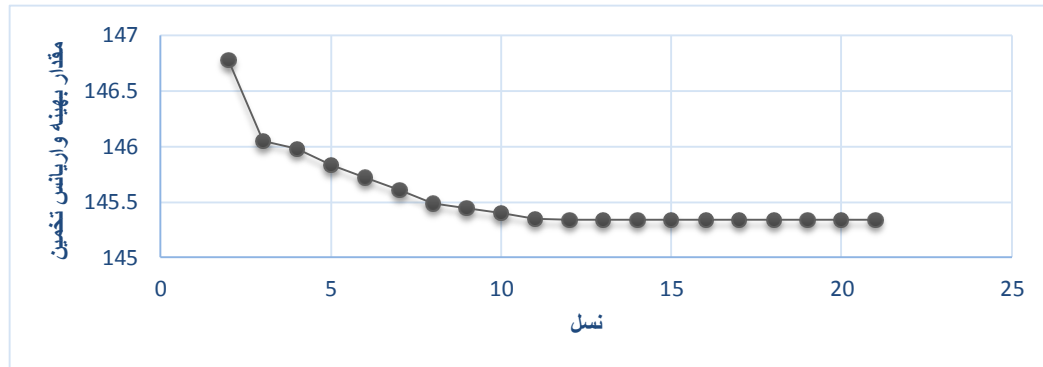
شکل (۵-۳۳) تغییرات بهترین جواب با تعداد جمعیت که طبق نمودار بهترین جمعیت ۳۰۰ است

جدول (۵-۱۲) تغییرات جواب بهینه با تغییر در تعداد جمعیت

تعداد جمعیت	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰
$\sum \sigma_E^2$	۱۵۰	۱۴۸,۵	۱۴۳,۵	۱۴۵	۱۴۳	۱۴۲	۱۳۸	۱۴۰
تعداد جمعیت	۹۰	۱۰۰	۲۰۰	۳۰۰	۴۰۰	۵۰۰	۶۰۰	۷۰۰
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۱	۱۴۰	۱۳۳	۱۳۰	۱۳۴	۱۳۵	۱۳۴	۱۳۳,۵

شکل (۳۴-۵) و جدول (۱۳-۵) نشان دهنده میزان تغییرات تابع هدف با تغییر در تعداد نسل را

نشان می دهد.



شکل (۳۴-۵) تغییرات بهترین جواب با تعداد نسل که طبق نمودار بهترین نسل ۱۱ است.

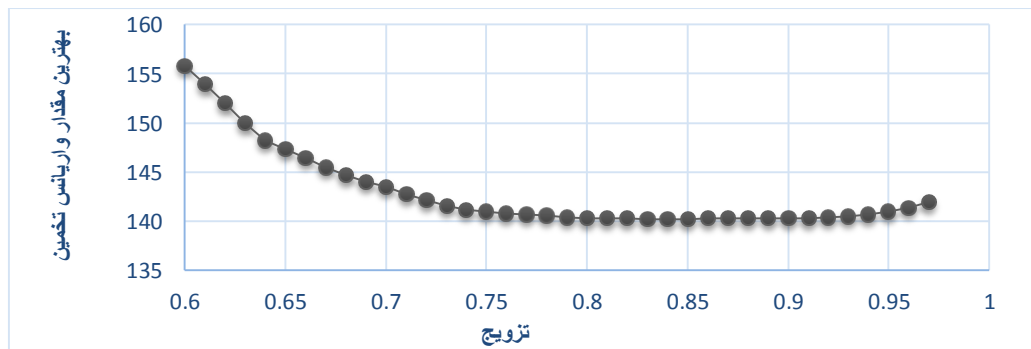
جدول (۱۳-۵) تغییرات جواب بهینه با افزایش نسل

تعداد نسل	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۶,۷۷	۱۴۶,۰۴	۱۴۵,۹۷	۱۴۵,۸۳	۱۴۵,۷۱	۱۴۵,۶۰	۱۴۵,۴۹
تعداد نسل	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۵,۴۴	۱۴۵,۳۹	۱۴۵,۳۵	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۳۵,۳۳
تعداد نسل	۱۶	۱۷	۱۸	۱۹	۲۰	۲۱	۲۲
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳	۱۴۵,۳۳

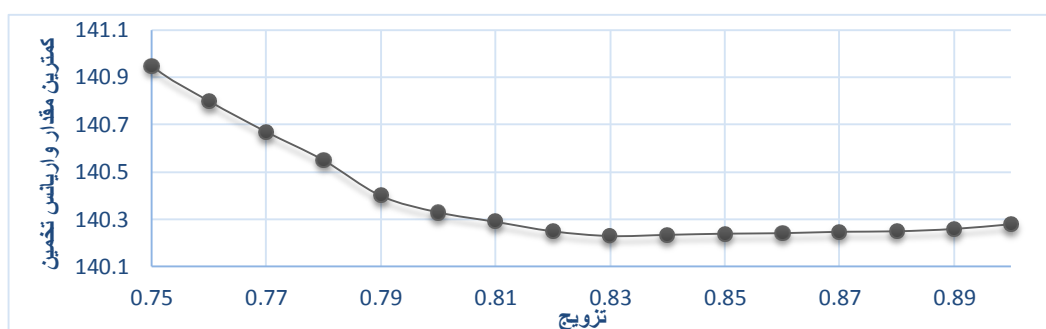
با توجه به نتایج حاصله برترین مقدار برای تعداد ۱۲ نسل به دست آورده شد.

شکل (۳۵-۵) و شکل (۳۶-۵) و جدول (۱۴-۵) نشان دهنده میزان تغییرات تابع هدف با تغییر

در نرخ تقاطع (تزوید) را نشان می دهد.



شکل (۳۵-۵) تغییرات بهترین جواب با نرخ تزوید

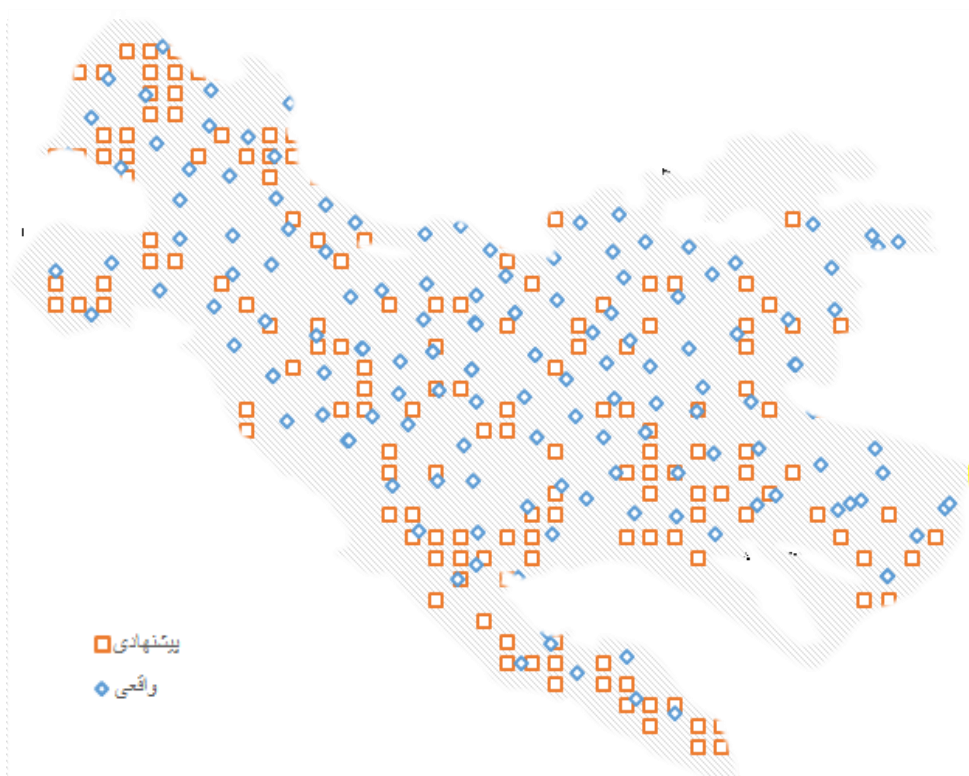


شکل (۵-۳۶) تغییرات بهترین جواب با نرخ تزوید بهترین نرخ تزوید ۰/۸۳ می باشد.

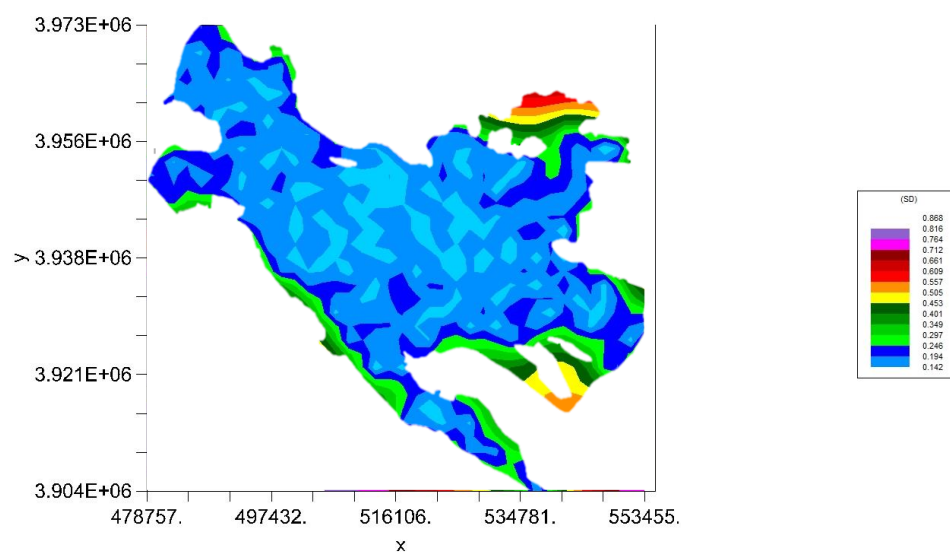
جدول (۵-۱۴) تغییرات تابع بهینه با افزایش نرخ تقاطع

نرخ تقاطع	۰/۷۵	۰/۷۶	۰/۷۷	۰/۷۸	۰/۷۹	۰/۸۰	۰/۸۱	۰/۸۲
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۰/۹۵	۱۴۰/۸	۱۴۰/۶۷	۱۴۰/۵۵	۱۴۰/۴	۱۴۰/۳۳	۱۴۰/۲۹	۱۴۰/۲۵
نرخ تقاطع	۰/۸۳	۰/۸۴	۰/۸۵	۰/۸۶	۰/۸۷	۰/۸۸	۰/۸۹	۰/۹۰
$\sum \sigma_E^2$	۱۴۰/۲۳	۱۴۰/۲۴	۱۴۰/۲۴	۱۴۰/۲۴	۱۴۰/۲۴	۱۴۰/۲۵	۱۴۰/۲۶	۱۴۰/۲۸

با توجه به جداول و نمودارهای بالا الگوریتم ژنتیک را با نرخ تقاطع ۰/۸۳، نرخ جهش ۰/۰۲، با تعداد جمعیت ۳۰۰ و برای ۱۵ نسل اجرا می نماییم تا به مقدار بهینه تابع هدف برسیم. با توجه به پارامترهای اعمال شده در الگوریتم، تابع هدف در کمترین مقدار خود به عدد ۱۳۰ کاهش یافت به طوری که طبق شکل (۵-۳۸) مقدار توزیع خطای واریانس کاهش یافت و نقاط انتخاب شده توسط الگوریتم نقاط بهینه طبق شکل (۵-۳۹) جهت شبکه پایش معرفی گردید. با توجه به شکل (۵-۳۷) در نقشه نقاط بهینه شبکه پایش به عنوان نقاط پیشنهادی و حلقه های چاه با عنوان واقعی نمایش داده شده است. که از میان ۱۶۴ چاه پیشنهادی، ۱۰۷ چاه مطابق با چاه های واقع بر سطح زمین است و تنها در ۵۷ حلقه چاه باید جابجایی صورت گیرد. مطابق بودن محل قرارگیری چاه های پیشنهادی با چاه های واقعی به معنای آن است که در فاصله ای کمتر از ۲ کیلومتری هم واقع شده اند.

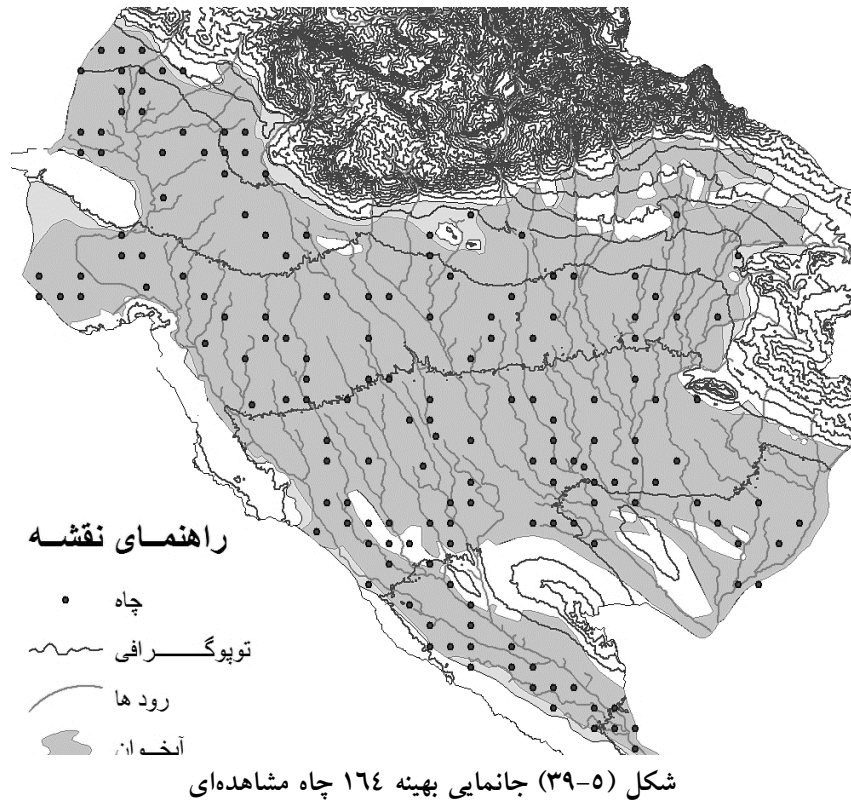


شکل (۳۷-۵) موقعیت قرارگیری چاه‌های واقعی و چاه‌های پیشنهادی



شکل (۳۸-۵) نقشه توزیع واریانس تخمین چاه‌های پیشنهادی

مجموع مقدار خطای واریانس تخمین پس از استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کریجینگ به مقدار قابل توجهی کاهش یافت به صورتی که به عدد ۱۳۰,۲ رسید. در صورتی که با توجه به جدول (۵-۱۵) در زمان شبیه سازی با استفاده از کریجینگ محض بهبود قابل توجهی ملاحظه نگردید.



جدول (۵-۱۵) تفاوت استفاده ترکیبی از الگوریتم ژنتیک_کریجینگ و کریجینگ

مجموع خطای تخمین	سری داده‌های میانگین	سری داده‌های مینیمم	سری داده‌های ماکسیمم
کریجینگ	۴۷۴	۵۶۵	۴۷۵
مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کریجینگ	۳۲۸	۳۵۲	۳۳۰
ترکیبی داخل مرز آبخوان	۱۳۰,۲	۱۳۱	۱۳۳

فصل ششم

نتیجه‌گیری و کارهای آینده

۱-۶ مقدمه و خلاصه

داده‌های شامل مختصات چاه‌های مشاهداتی، تراز سطح زمین، سطح آب، کد ایستگاه، شماره ایستگاه، محله ایستگاه، روز، ماه و سال داده برداری (برای سال‌های ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۲)، نقشه محدوده آبخوان، نقشه توپوگرافی، نقشه دشت و مسیر رودها جمع آوری شده و مورد ارزیابی قرار گرفتند. نقاط خارج از محدوده حذف گردیده‌شد. مختصات و تراز مرتفع‌ترین و پست‌ترین نقطه به دست آورده شد. برای هر چاه به تفکیک در هر سال و در کل داده‌های آمار برداری شده، میزان ماکزیمم، مینیمم، میانگین، مد، میانه، انحراف معیار و واریانس چاه محاسبه گردیده شد. و برای هر سال به ازای تمامی چاه‌ها همین مقادیر به دست آورده شد.

از آنجایی که برای استفاده از کریجینگ داده‌ها باید ایستا و نرمال باشند تست ایستایی انجام شد و مشخص گردید داده‌ها دارای ایستایی مرتبه دوم می‌باشند. بنابراین حذف روند صورت گرفت. همچنین با استفاده از نرم‌افزار Minitab تست نرمالیتی روی سه دسته تراز آب ماکزیمم، مینیمم و میانگین صورت گرفت و به دلیل نرمال نبودن داده‌ها، از تبدیل جانسون برای نرمال شدن داده‌ها استفاده گردید. با استفاده از نرم‌افزار GS+، کریجینگ روی داده‌ها اعمال شد و در مرحله اول واریوگرام متناسب با توجه به پارامترهای R^2 و RSS انتخاب گردید. معیار انتخاب واریوگرام بین مدل‌های موجود واریوگرامی است که نسبت به دیگر انواع، دارای RSS کوچکتر و R^2 بزرگتر باشد. در مورد هر سه سری داده‌ها برترین نوع واریوگرام، واریوگرام کروی تشخیص داده شد. همچنین از روی واریوگرام برازش داده شده

اطلاعات مهمی از جمله آستانه و مقدار اولیه نیز استخراج گردیده شد (این پارامترها در مرحله‌های بعدی برای پارامتر دهی به الگوریتم ژنتیک مورد استفاده قرار گرفته شد). داده‌ها از نظر ایزوتروپی مورد ارزیابی قرار گرفت که با توجه به نمودار گل رز، مشخص شد داده‌ها در تمام جهات ایزوتروپ می‌باشند. بنابراین برای شبیه‌سازی از واریوگرام ایزوتروپ استفاده گردید. شبیه‌سازی برای کل منطقه انجام گرفت و پهنه‌بندی تراز آب به صورت دو بعدی و سه بعدی برای هر سه سری داده‌ها به دست آورده شد. از آنجا که، شبیه‌سازی در صورتی قابل قبول است که موجب کاهش میزان واریانس تخمین گردد؛ جهت تست کارایی کریجینگ، تراز آب برای مختصات چاه‌ها نیز شبیه‌سازی شد و نمودار تصویری واریانس خطا به دست آورده شد. آن‌طور که نمودارها نشان می‌دهند؛ نتایج بسیار بهبود یافته و میزان واریانس خطا به صورت چشم‌گیری کاهش یافته است.

در استفاده از مدل ترکیبی الگوریتم ژنتیک و کریجینگ، جهت گرفتن نتیجه برتر و صرف مدت زمان کم، لازم است پارامترهای ثابت آن، از جمله تعداد نسل، نرخ جهش، نرخ تقاطع و جمعیت مقداری بهینه باشد. برای دستیابی به این منظور در الگوریتم تهیه شده ابتدایی با تغییر در نرخ‌های جهش و تقاطع و همچنین افزایش تعداد نسل و جمعیت تغییر تابع هدف بررسی گردیده شد. به این صورت که کمترین مقدار تابع هدف با تغییر در نرخ جهش، مربوط به نرخ جهش 0.02 به دست آورده شد. درمورد بهبود تابع هدف با تغییر در جمعیت، برترین جواب مربوط به تعداد جمعیت 30 به دست آورده شد. در تعیین تعداد نسل بهترین جوابها مربوط به نسل 11 به دست آمد و با افزایش نسل بهبود قابل توجهی در تابع هدف دیده نشد و بنابراین حداکثر تعداد نسل، برابر با 12 قرار داده شد. در مورد تغییرات نرخ تزویج با تغییر تابع هدف، برترین نرخ تزویج مربوط به نرخ تزویج 0.83 به دست آمد. بنابر موارد ذکر شده، پارامترهای الگوریتم ژنتیک بهینه با تعداد جمعیت 30 ، نرخ تزویج 0.83 ، نرخ جهش 0.02 و تعداد حداکثر نسل 12 بهینه گردید. با اعمال این پارامترها، مختصات بهینه‌ترین نقاط جهت حلقه‌های چاه به دست آورده شد. با توجه به جداول و اشکال مشخص است که الگوریتم در دستیابی به این نقاط موفق عمل کرده و تابع هدف چاه‌های پیشنهادی به وضوح دارای خطای تخمین کمتر می‌باشد.

۲-۶ نتایج

۱. شبکه پایش فعلی آبخوان تهران_ کرج بهینه نمی باشد.
۲. شبکه طراحی شده پیشنهادی در ۱۰۷ مورد از نقاط با شبکه فعلی مطابق است و در مابقی نقاط بهینه نیست.
۳. بیشترین تراکم چاهها مربوط به قسمت های مرزی است که بیانگر این موضوع است که بیشترین نوسانات و تاثیر گذاری را بر پایش دارد.

۳-۶ پیشنهادات

۱. با توجه به هدف مورد نظر تابع هدف تغییر کند.
 - تابع هدف دیگری جهت بهینه سازی انتخاب گردد. برای مثال ماکسیمم کردن کمترین فاصله بین چاهها می تواند تابع هدف مد نظر قرار گیرد. ضمناً می توان تابع هدف را کم هزینه ترین طرح قرار داد به این صورت که در تابع هدف بیشترین هم پوشانی با چاه های موجود مد نظر قرار گیرد.
 ۲. شبکه پایش کیفی آبخوان مورد مطالعه قرار گیرد.
 - در تحقیق پیش رو تراز سطح آب مورد بررسی واقع شد. برای تحقیقات آتی پیشنهاد می گردد پارامترهای کیفیت آب از جمله مقدار نیترات و فلزات سنگین و غیره مورد بررسی قرار گیرد.
 ۳. الگوریتم به صورت چند هدفه اجرا شود به صورتی که هم از نظر کمی و هم از نظر کیفی بهینه شود.
- با استفاده از الگوریتم NSGAII چند هدف به صورت هم زمان مورد بررسی قرار گیرد؛ به این ترتیب که هم تراز سطح آب و هم پارامترهای کیفی به صورت هم زمان بهینه سازی شود.

فهرست مراجع

- ابوالقاسمی رحیم آبادی ع، (۱۳۸۷)، پایان نامه ارشد: "شناخت و بررسی تاثیر آلاینده بر کیفیت آب رودخانه زاینده رود با استفاده از مدل QUAL2E"، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان،
- افشار م.ه، (۱۳۸۳) "مقایسه روش های برنامه ریزی ریاضی و الگوریتم ژنتیک برای طراحی بهینه خطوط انتقال آب"، وزارت نیرو (سازمان آب منطقه ای تهران) کد پروژه: ۸۳۰۲۰
- تائبی ا. و چمنی م.ر، (۱۳۷۹) "شبکه های توزیع آب شهری"، چاپ اول، مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان، صفحه ۶۲۸
- حسنی پاک ع.ا، (۱۳۸۹) "زمین آمار"، چاپ سوم، انتشارات دانشگاه تهران، تهران.
- خیاط خلقی م، (۱۳۸۵) "تدوین الگوی بهینه پایش کیفی و ارائه سیستم هوشمند در مدلسازی ساختار مکانی عناصر آلاینده سفره آب زیرزمینی دشت قزوین"، وزارت نیرو (سازمان آب منطقه ای تهران)، کد پروژه: ۸۵۱۱۸
- دستورالعمل رفتارسنجی کمی آب های زیرزمینی-نشریه ۲۶۰ - الف - طرح تهیه ضوابط و معیارهای فنی صنعت آب کشور
- دستورالعمل تعیین محل و نظارت بر حفر چاه های آب در آبرفت و سازندهای سخت و تهیه گزارش حفاری (چاه های بهره برداری، اکتشافی، پیزومترها و مشاهده ای) نشریه ۵۷۷ دفتر مهندسی و معیارهای فنی آبا.
- دلبری م، (۱۳۷۷)، "کاربرد روش های ژئواستاتیک در برآورد هدایت هیدرولیکی خاک"، دانشکده مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، تهران.
- رزمگیر ر، موسوی م، شمشکی ا. و بلورچی م، (۱۳۸۹) "فرونشست دشت تهران-شهریار بر اثر برداشت بی رویه آب های زیرزمینی بررسی مقدماتی"، کنفرانس ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، ساری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
- زارع ابیانه ح. و بیات ورکشی م، (۱۳۹۲) "توسعه و کاربرد مدل های عصبی، فازی، الگوریتم ژنتیک و زمین آمار در برآورد توزیع مکانی سطح ایستابی" مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک جلد بیستم، شماره چهارم

سلاجقه س. و خراسانی ن. و میرسیدحسینی ح. و زاهدی امیری ق ، (۱۳۹۲) "توزیع مکانی کیفیت آب زیرزمینی با استفاده از روش‌های زمین‌آمار (مطالعه موردی شهر کرج)"، **مجله پژوهش‌های آب‌خیزداری**، شماره ۱۰۰

شرکت سهامی آب منطقه‌ای قزوین "مطالعات مدل بهره‌برداری بهینه منابع آب سطحی و زیرزمینی دشت قزوین"، گزارش طراحی شبکه ایستگاه‌ها اسفند ۱۳۸۵
عیوضی م ، (۱۳۸۸)، "مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در پهنه خشکسالی‌های استان گلستان"، کنفرانس ملی خشکسالی و راهکارهای مدیریت آن، مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی اصفهان،

فخرزاد م. و عظیم‌زاده م ، (۱۳۹۳) "الگوریتم ژنتیک برای مساله زمان‌بندی تک‌ماشین با جرایم زودکرد خطی، و دیرکرد توان دوم و با در نظر گرفتن زمان بیکاری و شکست کار" **مجله مدیریت تولید و عملیات**، شماره ۱، دوره سوم.

فروغی ف. و رضایی م ، (۱۳۹۲) "بهینه‌سازی شبکه پایش سطح آب زیرزمینی در دشت تبریز با استفاده از روش زمین‌آمار" **فصلنامه علمی- پژوهشی زمین‌شناسی محیط زیست سال هفتم**، شماره ۲۲

کارآموز م. و کراچیان ر ، (۱۳۸۲) "برنامه‌ریزی و مدیریت کیفی سیستم‌های منابع آب"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.

کراچیان ر. باشی ازغدی س.ن ، (۱۳۸۹) "شناخت خصوصیات منبع آلاینده آب زیرزمینی با استفاده از ماشین‌های بردار پشتیبان احتمالاتی"، کنگره ملی مهندسان عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد،

گنجی خرم دل ن. و محمدی ک. و منعم م ، (۱۳۸۷) "بهینه‌سازی شبکه چاه‌های مشاهده‌ای برای تخمین بیلان با روش نوسان دوگانه سطح آب زیرزمینی" **مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)** جلد ۲۲ ، شماره ۲

مدنی ح ، (۱۳۷۳) "مبانی زمین‌آمار"، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران.
معصومی ف و کراچیان ر ، (۱۳۸۵) ، "ارزیابی سیستم‌های پایش کیفی منابع آب زیرزمینی با کاربرد تئوری آنتروپی گسسته - مطالعه موردی آبخوان تهران"، کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، اصفهان

منزوی م.ت ، (۱۳۷۸) "آب‌رسانی شهری" چاپ دهم انتشارات دانشگاه تهران، صفحه ۳۷۹

نیکرو، ل، (۱۳۸۶) پایان نامه ارشد: "کاربرد زمین‌آمار در بررسی نوسانات عمق سطح آب زیرزمینی و شوری آن در دشت مهر (جنوب استان فارس)"، دانشگاه شیراز.

وزارت نیرو (سازمان آب منطقه‌ای تهران) (۱۳۹۰) "مطالعات تلفیقی منابع آب دشت ابهر- شبکه بهینه ایستگاه‌ها"، مهندسين مشاور آبخوان.

Ahmadi, S. H., and A. Sedghamiz. (2007). "Geostatistical analysis of spatial and temporal variations of groundwater level" **Journal of Environmental Monitoring Assessment**, 129: pp 277-294.

Baalousha, H. (2010) "Assessment of a groundwater quality monitoring network using vulnerability mapping and geostatistics: A case study from Heretaunga Plains, New Zealand", **Agricultural Water Management** 97 (2010) 240–24

Bouwer H. (1978) "**Groundwater Hydrology**", New York; Mc Graw, Hill

Collins, F.C., and P.V. Bolstad. (1996) "A comparison of spatial interpolation techniques in temperature estimation", Proceedings of the Third International Conference/Workshop on Integrating GIS and Environmental Modeling, Santa Fe, New Mexico, January 21-25, 1996. Santa Barbara, California: National Center for Geographic Information Analysis (NCGIA).

Cressie, N. (1998) "**Statistics for spatial data. Join Wiley**". 900p. 11-Dagostino, v., Greene, E.A., Passarella, B., Vurro, G. (1991) Spatial and temporal study of nitrate concentration in groundwater by means of coregionalization. *Environmental Geology*. 36, 285-295

Dhar, Anirban, and Datta, Bithin, (2010) "Logic-based design of groundwater monitoring network for redundancy reduction", **Journal of Water Resources Planning and Management**, v. 136, p. 88–94.

Garcia, L.A., and A. Shigid. (2006), "Using neural networks for parameter estimation in ground water" **Journal of Hydrology**, 318: pp 215–231.

Grabow, G.L., Mote, C.R., Sanders, W.L., Smoot, J.L., and Yoder, D.C., (1993) "Groundwater monitoring network design using minimum well density", **Water Science and Technology**, v. 28, no. 3–5, p. 327–335.

Helena, B. Pardop, R. Vega, M. Barrado, E. Manuel, J. and L. Fernandez. (2000) "Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer by principal component analysis" **Water Res.** 34(3): 807-816.

Hisdal, H. and L.M. Tallaksen. (1999) "Methods for Regional Classification of Streamflow Drought Series: The EOF Method and L-moments, The EOF Method and L-moments" **ARIDE Technical No 2, University of Oslo, Oslo, Norway**.

Hooshmand, A., Delghandi, M., Izadi, A., Ahmad Aali, K. (2011) "Application of kriging and co-kriging in spatial estimation of groundwater quality parameters" **African Journal of Agricultural Research** Vol. 6(14), pp. 3402-3408.

Jason C. Fisher., (2013) "Optimization of Water-Level Monitoring Networks in the Eastern Snake River Plain Aquifer Using a Kriging-Based Genetic Algorithm

Method", **Department of the Interior & U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2013–5120DOE.**

Li, L. and Revesz, P. (2004) "Interpolation methods for spatio-temporal geographic data, Computers", **Environment and Urban Systems 28, 201–227.**

Li, Yuanhai, and Hilton, A.B.C, (2007) "Optimal groundwater monitoring design using an ant colony optimization paradigm", **Environmental Modeling and Software, v. 22, p. 110–116.**

Lin, Yu-Pin, and Rouhani, Shaharokh, (2001) "Multiple-point variance analysis for optimal adjustment of a monitoring network", **Environmental Monitoring and Assessment, v. 69, p. 239–266.**

Lucas, L. and M. Jauzein. (2008) "Use of principal component analysis to profile temporal and spatial variations of chlorinated solvent concentration in groundwater" **Environ. Pollut.**151: 205-212.

Marinoni, O. (2003) "Improving geological models using a combined ordinary – indicator kriging approach", **Engineering Geology. 69, 37–45.**

Olea, R. and Davis, J. (1999a) "Optimizing the High Plains aquifer water-level observation network", **K.G.S. 1999-15.**

Olea, R. and Davis, J. (1999b) "Sampling analysis and mapping of water levels in the High Plains aquifer of Kansas", **K.G.S, 1999-11.**

Oliver, M., Webster, R., Gerrard, J. (1989) "**Geostatistics in Physical Geography**". Part 1: theory transactions of the Institute of British Geographers, New Series, Vol.14. No.3. PP.256-269.

Oueslati, O., A. Maria, D. Girolamo, A. Abouabdillah and A.Porto. (2010) "Attempts to flow regime classification and characterization in Mediterranean streams using multivariate", Statistical Hydrol, Taormina, Italy

Reed, Patrick, Minsker, Barbara, and Valocchi, A.J., (2000) "Cost-effective long-term groundwater monitoring design using a genetic algorithm and global mass interpolation", **Water Resources Research, v. 36, no. 12, p. 3731–3741.**

Scrucca, Luca, (2013) "GA-A package for genetic algorithms", **Journal of Statistical Software, v. 53, no. 4, 37 p.**

Siyue, L. (2009) "Water quality in the upper Han River, China: The impacts of land use/land cover in riparian buffer zone" **J. Hazardous Materials 165: 317-324.**

Snyder, D.T., (2008) "Estimated depth to ground water and configuration of the water table in the Portland, Oregon area", **U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2008-5059, 40 p.**

Yeh, M.S. Lin, Y.P. and Chang, L.C. (2006) "Designing an optimal multivariate geostatistical groundwater quality monitoring network using factorial Kriging and genetic algorithms", **Environmental Geology. 50, 101-121.**

YILMAZ ICAGA. (2008). "Regionalization of probable rainfall using regression analysis and kriging." **Journal of Structural Mechanics of Earthquake Engineering, 456(II-21): pp 1–10.**

Abstract

It has been forecasted that by 2025, Iran will face with water crisis. It is predicted that available water per capita would fall between 776 to 860 cms in 2025. Water production is not the only solution to overcome the problem of water shortage, but the country must prevent waste and losses of water with proper management and optimal utilization of prevailing resources, to increase the efficiency and lifetime of water systems and minimize costs. Obviously, the optimal management of water systems and decision-making requires information and tools to monitor available water resources. So, an optimal monitoring network, for estimating and predicting of the groundwater level is an essential tool for aforementioned aim. The objective of this study is to find the best sites for monitoring wells at Tehran_Karaj aquifer. To find the optimum location for wells, a combination of the Kriging interpolation method and genetic algorithm was applied. The objective function was to minimize the groundwater level estimation error i.e. the best solution to the problem is the coordinates of the Kriging implementation that have lowest total estimation error. Results revealed that by shifting the coordinates of 57 wells out of 164, estimation error would decrease to a considerable amount, i.e. one third of the original error.

Keywords:

Optimization, Genetic Algorithm, Kriging method, groundwater level, Tehran_Karaj aquifer,



University of Shahrood
Faculty Civil Engineering
Department of Water Engineering

**Compilation optimum model of Tehran – Karaj’s Groundwater
monitoring network by hybrid geostatistical model**

Pakkhesal, Razieh

Advisor

Golian, Saeed, Ph.D.

Hosseini, Seyed Moosa, Ph.D.

December 2015